LA ELECTRONICA EN LA MEDICINA

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA




NUEVAS
TECNOLOGIAS
BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

LA ELECTRONICA EN LA MEDICINA



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

© Ediciones Orbis, S.A., 1986
Apartado de Correos 35432, Barcelona

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-605-0 (Vol. 19)
D. L.: B. 13505-1986

Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa Provenza, 388 08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts 1986

Printed in Spain

La Electrónica en la medicina

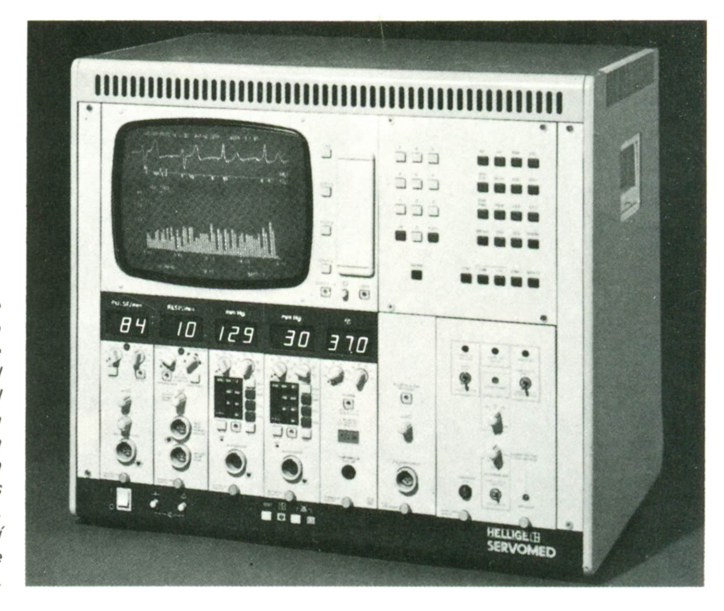
MEDICINA Y TECNOLOGIA

Una gran cantidad de actividades humanas han sido consideradas en principio, como un arte, para pasar, al cabo del tiempo, a ser consideradas como una técnica. Este fue el caso de la arquitectura de la ingeniería y, en particular de la medicina. En el caso de las dos primeras la fase técnica ya ha llegado hace algún tiempo. En el caso de la medicina se está



Disposición de los electrodos para captar el comportamiento de un atleta en pleno esfuerzo. Mediante este tipo de control puede conocerse en cada momento el ritmo respiratorio y cardíaco, la salinidad del sudor, la fatiga muscular, la temperatura en determinadas zonas, etc. (Cortesía: Texas Instruments).

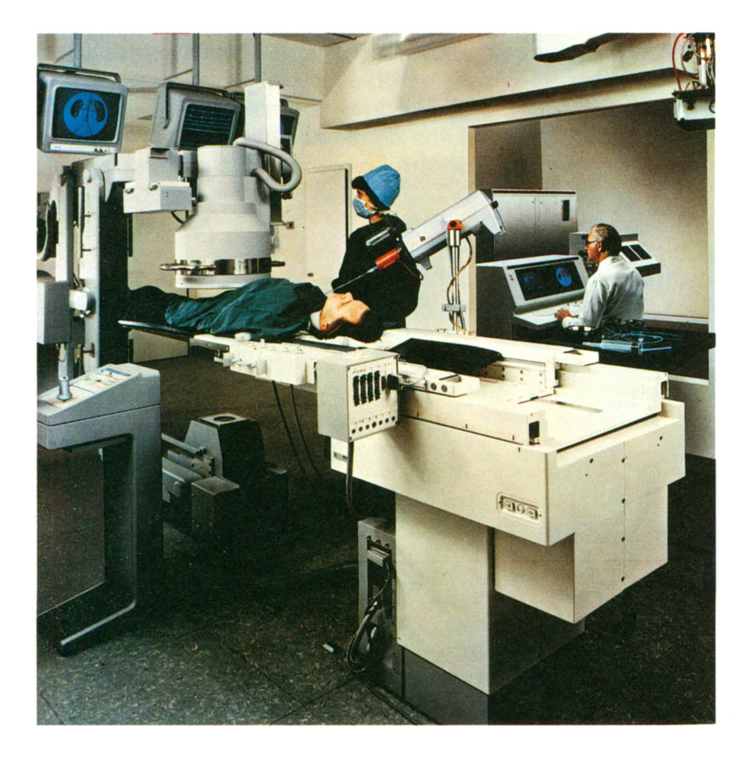
a punto de abordar esta fase; de ahí que todavía existan pronunciamientos sobre la cualidad de arte de la práctica médica. Sin embargo, cabe preguntarse el por qué de esta diferenciación entre arte y técnica. Normalmente, se dice de una actividad humana que es un arte cuando intervienen en ella elementos de tipo empírico que se combinan para conseguir el resultado deseado. Ello viene determinado por el desconocimiento de los mecanismos que provocan los fenómenos observados, y por la falta de herramientas para modificar dichos fenómenos. En el momento en el que, por ejemplo, se empezaron a conocer las propiedades de los materiales, la arquitectura cedió parte de su consideración como arte para convertirse en una técnica que podría ser modulada por ciertas consideraciones de tipo artístico, se puede trazar un cierto paralelo con el caso de la medicina.



Unidad central de monitorización para vigilancia intensiva. Se presenta, digitalmente, el ritmo cardiaco y el respiratorio, presión arterial y temperatura. La pantalla permite la presentación de señales de pulso, electrocardiograma así como las tendencias de ritmo.

Desde sus comienzos la medicina fue una ciencia empírica. Es decir, de la observación de síntomas y signos del paciente en un gran número de ellos, se deducían pautas de comportamiento con el fin de aliviar los males que aquél

sufría. Sin embargo en la mayor parte de los casos se desconocía la naturaleza de los fenómenos que provocaban los síntomas. Por otra parte, no se disponía de las herramientas necesarias para poder actuar sobre dichos síntomas.



Moderna instalación de angiografía para el examen de los vasos sanguíneos. La utilización del sistema DVI de Philips permite obtener rápida y automáticamente un diagnóstico altamente fiable.

Sin embargo en culturas muy antiguas aparecen complejas herramientas para usos médicos. Así es bien conocido el hecho de que las culturas precolombinas practicaban trepanaciones con elaborados elementos de corte desde tiempos muy antiguos. Pese a todo, la medicina era un arte. El desconocimiento de la naturaleza de los fenómenos fisiológicos determinaba que las actuaciones estuviesen basadas en un empirismo considerable.

El desarrollo de las Ciencias Físicas y, en general más o menos exactas, durante el siglo XVIII y XIX, determinó que ciertos fenómenos fisiológicos pudiesen ser interpretados a

la luz de los nuevos descubrimientos. Fruto de este desarrollo es por ejemplo la aparición de los Rayos X como herramientas de diagnóstico en el cambio del siglo XIX al XX. Sin embargo se tuvieron que dar una serie de circunstancias especiales para que la técnica entrase con toda fuerza en el ámbito de la práctica médica diaria.

Resulta paradójico que las guerras hayan producido avances tecnológicos notables que después han sido utilizados en la vida civil, e incluso a provechados para la mejora de la salud de los ciudadanos. La segunda guerra mundial, provocó un desarrollo tecnológico grande. Uno de los aspectos esenciales de este desarrollo fue la introducción de la Electrónica en diversos tipos de aplicaciones, tales como el radar, la amplificación de señales débiles, la mejora de los sistemas de recepción de radio, etc. De esta forma a finales de los años 40 existía una cierta capacidad industrial para desarrollar nuevas aplicaciones de la Electrónica y así encontrar nuevos mercados.

Ello provocó un fenómeno interesante, consistente en que se empezó a pensar en la posibilidad de desarrollar sistemas para el estudio de los *fenómenos biológicos* y para la medida de las *variables fisiológicas* de las personas. Para ello se intentó aplicar toda la tecnología desarrollada para otras aplicaciones. Sin embargo el éxito inicial no fue muy grande; la introducción de la Electrónica en la medicina y, en general de la tecnología, presentaba problemas nuevos y distintos a los de la introducción de estas técnicas dentro del ámbito industrial. Los médicos no cooperaban demasiado, existía una diferencia de lenguajes muy grande, se encontraban dificultades objetivas de aplicación, debido a la naturaleza de los fenómenos a medir, y en general, el empeño no resultaba tan fácil.

Conviene resaltar el problema del lenguaje en el desarrollo de la aplicación de la Electrónica a la medicina. El lenguaje médico suele ser descriptivo, profuso, muy particular, y bastante específico. Por otro lado el lenguaje de la técnica suele ser preciso, profesional, y poco cualitativo. Ello conlleva que la especificación de un determinado problema por un médico o por un técnico se plantee de forma completamente distinta. Para el médico se trataría de resolver un problema con multitud de aspectos de una forma muy relacionada con su práctica diaria. En contrapartida para un ingeniero se trataría de desarrollar un sistema cuyas

funciones deberían estar claramente especificadas; en definitiva se plantea un grave problema que sólo el tiempo y una cierta evolución cultural, en sentido amplio, puede obviar.

Este no es un fenómeno aislado que se ve tan sólo en la medicina. Actualmente se vive un tiempo en el cual las actividades interdisciplinarias profesionales están comenzando a tener un auge importante habida cuenta de la creciente complejidad del mundo actual. La superespecialización ha llevado a ciertas formas de incomunicación que representan un cierto retardo en el desarrollo de la solución de muchos problemas. Mientras que los problemas de tipo organizativo, desde un punto de vista social, se pueden resolver en cortos períodos de tiempo, los problemas de tipo económico-social requieren un tiempo mayor para su resolución. Finalmente, los cambios de mentalidad social requieren tiempos mucho más largos que los anteriores para su resolución. Este sería el caso de la medicina.

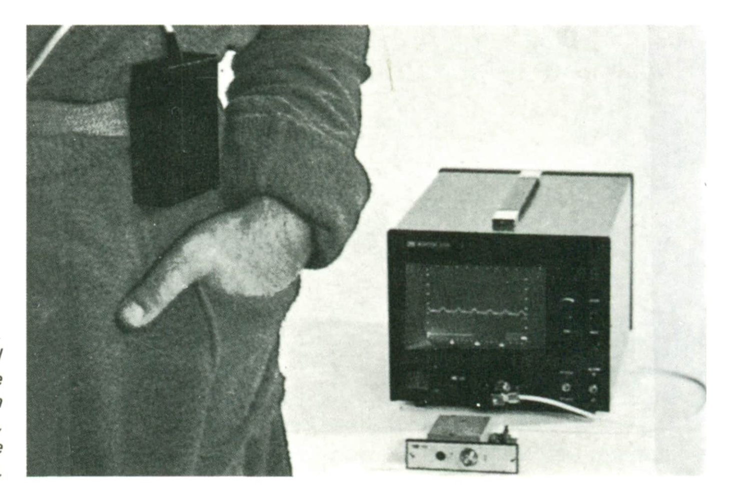


Las personas incapacitadas pueden encontrar una gran ayuda en la electrónica. Con el movimiento de los ojos este paciente controla diversos electrodomésticos e incluso puede utilizar un sintetizador para dar órdenes. Dos electrodos, situados a cada lado de los ojos, captan las indicaciones del paciente que no puede moverse de la cama. Con este método puede relacionarse también con otras personas que posean otra terminal del computador. (Cortesía: St. George's Hospital, Lincoln, Gran Bretaña).

Mientras que se puede introducir la técnica en los hospitales de forma inmediata, su evaluación y su adecua-

ción al uso correcto requieren más tiempo. Por otra parte el cambio de actitud de los médicos con respecto a las nuevas tecnologías requiere períodos de tiempo mucho más largos. Sin embargo, el proceso resulta inexorable.

La aplicación de la técnica para la realización de medidas o de acciones sobre los pacientes provoca un cambio en los conceptos que sustentan los conocimientos médicos. Ello es debido a que los procesos biológicos se pueden cuantificar y, en consecuencia, se pueden aplicar ciertas técnicas deducidas del desarrollo de las Ciencias Físicas a la resolución de los problemas biológicos. Con ello se crea una nueva situación en la cual el fundamento técnico de las decisiones médicas va cobrando gran importancia y resulta inexcusable.



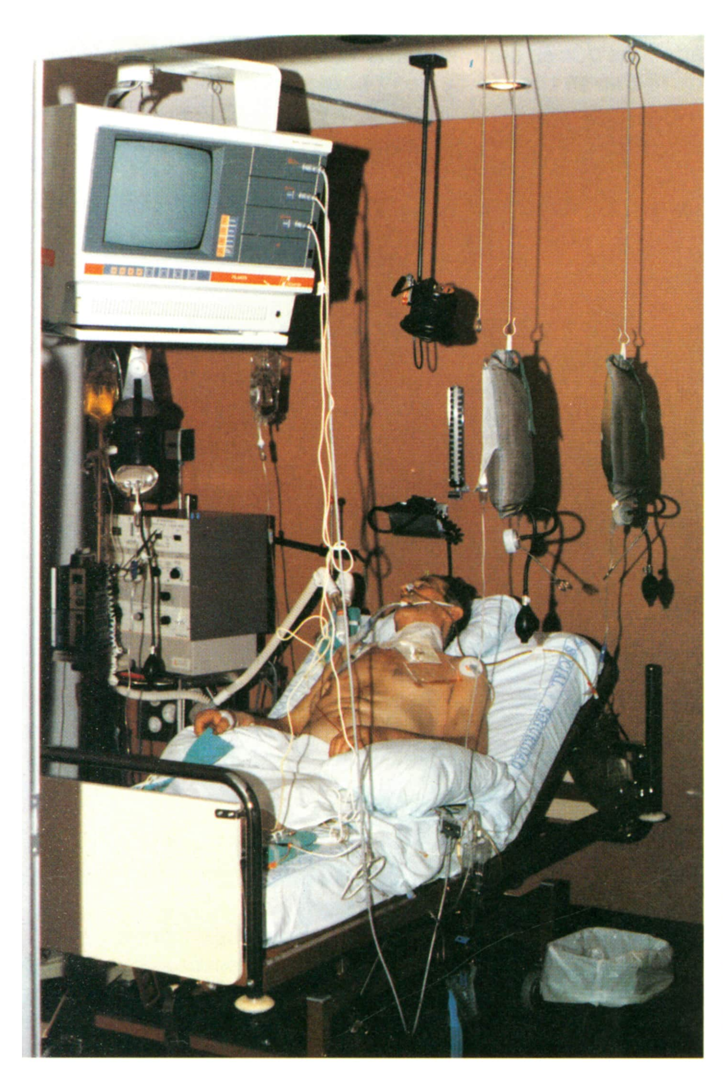
Sistema de telemetría, vía radio, del electrocardiograma. Se utiliza por los atletas, en pruebas de esfuerzo, pacientes con libertad de movimientos, etc.

El progreso de la medicina, determina pues, un cambio profundo en las formas de actuación del médico. Una gran parte de este cambio es debido a la introducción de la Electrónica dentro del complejo mundo médico.

TIPOS DE APLICACIONES ELECTROMEDICAS

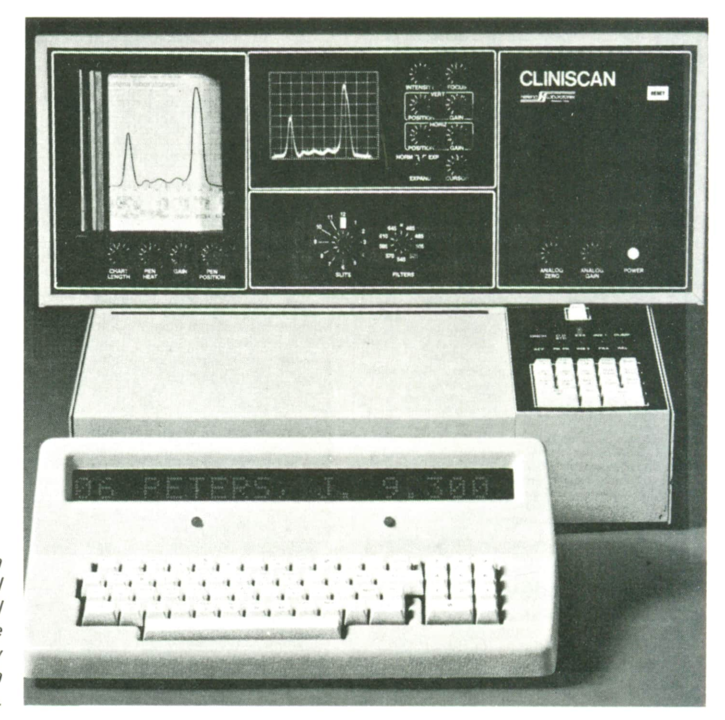
Es un hecho palpable que la Electrónica ha irrumpido con fuerza en el campo médico.

En primer lugar cabe citar un conjunto muy amplio de equipos dedicados a realizar *medidas diversas sobre el cuerpo humano.* Lo que se suele pretender con estos equipos es cuantificar las variables que determinan el comportamiento de los diversos órganos y sistemas.



Unidad de cuidados intensivos. Estos equipos son capaces de presentar simultáneamente datos alfanuméricos y curvas para controlar la respiración, electrocardiogramas así como medir la presión y la temperatura del enfermo.
(Cortesía: Icuatro).

En segundo lugar existe una gama de sistemas dedicados a actuar sobre el individuo de una forma más o menos agresiva; se trata de los *equipos terapéuticos*. Entre estos equipos cabe realizar aún, una cierta subdivisión. Por un lado estarían los que pretenderían conseguir algún efecto concreto sobre el individuo: son los equipos terapéuticos propiamente dichos. En segundo lugar cabría citar a aquellos que se denominan *ayudas funcionales*. En este caso de lo que se trata es de compensar algún tipo de deficiencia que sufre el paciente, por medio de la utilización de sistemas que subsanen la deficiencia que padecen.



Densitómetro para analizar las proteínas del suero sanguíneo. El análisis resultante se observa en una pantalla y puede reflejarse en una sección impresora.

Un tercer grupo de equipos serían los que se podrían denominar de *vigilancia continuada* del paciente. Estos sistemas se suelen utilizar para medir ciertos tipos de variables estratégicas. Sin embargo la particularidad que

presentan frente a los equipos de medida normal o de diagnóstico, es que las medidas se realizan de forma continuada durante largos períodos de tiempo. Por otro lado estos sistemas suelen ir asociados a mecanismos de alarma que avisan al personal médico sobre eventuales disfunciones en los órganos del paciente, permitiendo tomar acciones concretas para evitar el agravamiento de éste.



Control de los efectos de la anestesia sobre los tejidos humanos, en función de la coloración que presentan en una pantalla. Con ello se pueden localizar disfunciones de órganos internos, tumores, lesiones en la médula o los huesos, etc. (Cortesía: Tracor Northern).

Por último habría que citar a un conjunto de aparatos y sistemas electrónicos relacionados con el *sistema sanitario*. Un hospital es una mezcla de hotel y de centro especializado en realizar determinados tipos de medidas o llevar a cabo determinados tipos de acciones sobre las personas. La

complejidad de una estructura como ésta requiere de una organización elaborada. Los aspectos logísticos, alimentación, asignación de recursos, distribución de personal, elaboración de documentación, son algunos de los aspectos en los que la Electrónica y la Informática pueden ayudar para conseguir una optimización de los medios puestos a disposición del sistema sanitario.

LA ELECTRONICA EN EL DIAGNOSTICO

El proceso de *diagnóstico médico* ha sido muy estudiado a lo largo de los últimos años. Este proceso constituye un paradigma de la forma de razonar humana por lo que ha atraído el interés de muchos estudiosos. En esencia el proceso de diagnóstico se basa, en una primera fase en la observación de síntomas que presenta el paciente. Posteriormente, estos signos son contrastados con el conocimiento médico, de forma que se puedan establecer correlaciones



Instalación de un sistema biplano para el diagnóstico de cardiopatías. Nótese la complejidad del equipo y de los accesorios que se suelen utilizar. (Cortesía: Philips).

entre experiencias anteriores y la experiencia concreta de que se trate. En base a este proceso de comparación se establece una hipótesis sobre la cual puede basarse la gama de posibles diagnósticos.

Con el objeto de poder discriminar entre las posibles alternativas, se suelen realizar pruebas adicionales sobre el paciente, de forma que el margen de alternativas se estrecha sucesivamente. Finalmente se llega a una decisión que sirve de base para el posterior tratamiento del paciente. En fases posteriores se suele seguir la evolución del paciente y, eventualmente se puede alterar el diagnóstico en función de su reacción ante las acciones tomadas.



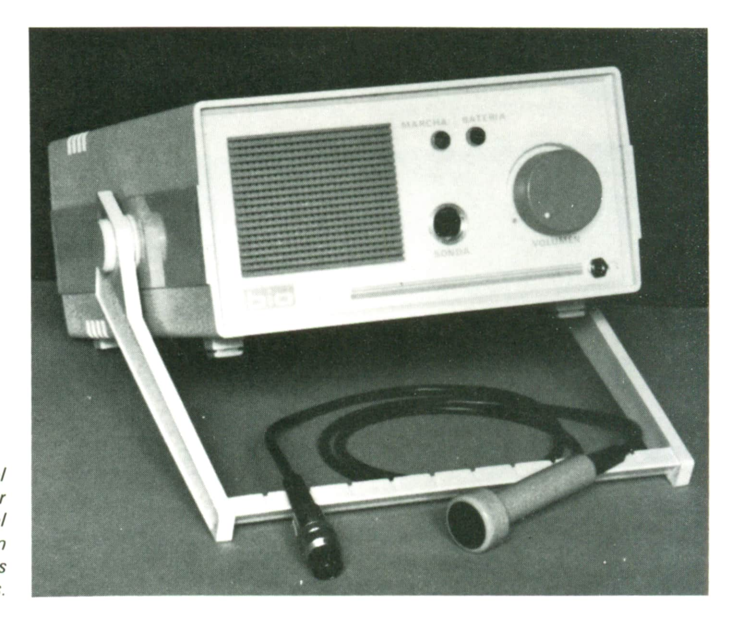
Cardiotocógrafo fetal o monitor de partos. Facilita la indicación numérica de la frecuencia cardíaca fetal y presión intrauterina así como el registro de ambas variables. Gracias a este equipo se pueden evitar numerosos problemas de anomalías en el recién nacido como consecuencia del llamado sufrimiento fetal. (Cortesía: Icuatro).

La parte fundamental del proceso estriba en una *observación* una *interpretación* adecuada de los signos y síntomas que el paciente presenta. Este hecho es el que más ha contribuido a que la medicina sea considerada como un arte. En efecto, la capacidad de observación y la capacidad de discriminación entre diferentes síntomas constituye una de las cualidades más cotizadas de un médico.

Las nuevas tecnologías han venido a modificar en parte, este planteamiento. En efecto, si los síntomas observados se pueden cuantificar, su peso relativo en la decisión final resulta ser más objetivo. Por otra parte, la cuantificación de los síntomas permite establecer modelos de comportamiento de los sistemas fisiológicos, lo que determina un mejor conocimiento de su funcionamiento y de sus posibles alteraciones.

No obstante sigue siendo indispensable la capacidad de relación que el médico aporta con el fin de determinar cuáles pueden ser los diagnósticos posibles.

El proceso de medida de cualquier variable fisiológica suele ser complejo, requiriendo una instrumentación adaptada a cada caso. En primer lugar resulta indispensable convertir la variable a medir en una señal eléctrica, con el fin de que ésta pueda ser después procesada adecuadamente y, eventualmente, representada en su evolución dinámica o estática. El elemento que convierte las señales biológicas en señales eléctricas se denomina *transductor*.



Detector ultrasónico del latido fetal. El transductor recoge los sonidos del feto, y permite que sean amplificados y tratados hasta hacerlos audibles.

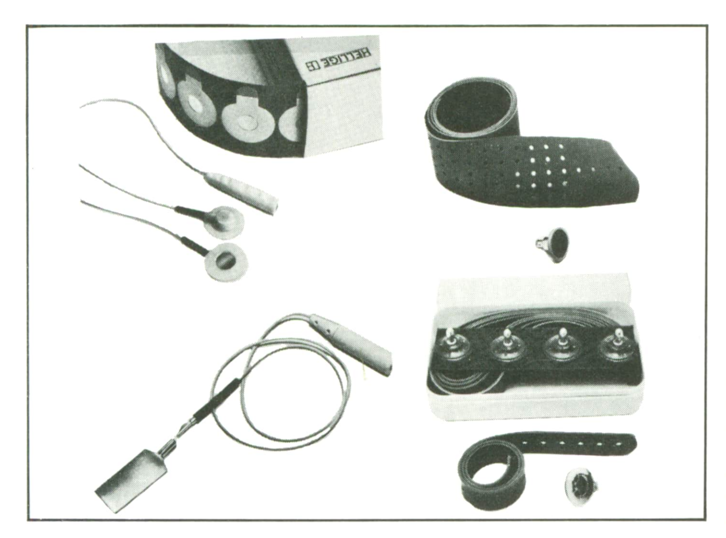
Los *transductores biomédicos* presentan particularidades con respecto a otros tipos de transductores utilizados en el medio industrial. Ante todo, no es lo mismo diseñar transductores que se han de aplicar sobre un ser vivo que aquellos otros dedicados a realizar medidas de laboratorio.

Los transductores aplicados a los seres vivos han de ser esencialmente seguros. Es decir, no deben provocar ningún tipo de riesgo al paciente. Asimismo, se debe provocar el mínimo de alteración sobre el paciente al realizar la medida.

En efecto, los seres vivos en general son sistemas tremendamente cambiantes, cualquier alteración en su

entorno provoca variaciones sustanciales en los valores de las variables que caracterizan a sus sistemas internos. De ahí, que un transductor o un sistema de medida incómodo que produzca modificaciones sobre algunos de los sistemas del paciente alterará sustancialmente las medidas a realizar por lo que su utilidad resultaría dudosa, al proporcionar datos alterados.

Una dificultad adicional que presentan las medidas biomédicas estriba en la inaccesibilidad de la mayor parte de los puntos de medida de interés. Realizar medidas en el interior del cuerpo mediante procedimientos difíciles o cruentos resulta muchas veces inaceptable, desde un punto de vista ético. La *seguridad del paciente* se encuentra por

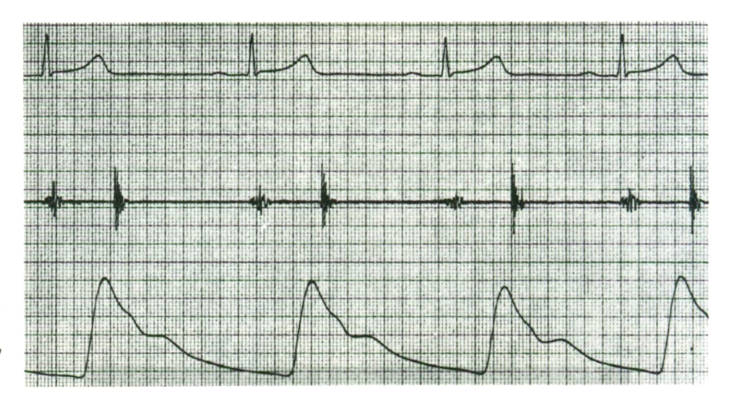


Diversos tipos de electrodos utilizados en electrocardiografía clínica. Cada tipo de aplicación y cada zona del organismo, requiere trabajar con un determinado electrodo.

encima de cualquier otra consideración. Sólo en casos muy especiales o en aquellos en los que el punto de medida interno se encuentra accesible, por ejemplo, por el hecho de que se esté produciendo una intervención quirúrgica, está justificado el realizar medidas internas. Es por ello por lo que en medicina proliferan las *medidas de tipo indirecto*. Es decir, medidas que pretenden obtener los valores de variables relacionadas con las que interesa conocer, pero que resultan más fáciles de realizar que las primitivas.

Una consideración adicional sobre los transductores empleados es la que lleva a los constructores a realizarlos simples y robustos. El medio hospitalario es a este respecto un lugar agresivo para la tecnología. Los usuarios de este material no suelen ser técnicos y además utilizan estas herramientas tratando de resolver problemas que no están ligados a la propia tecnología. Es por ello por lo que los sistemas de medida han de ser simples, calibrables en el propio lugar de utilización de forma sencilla, y robustos, a fin de evitar su rápido deterioro.

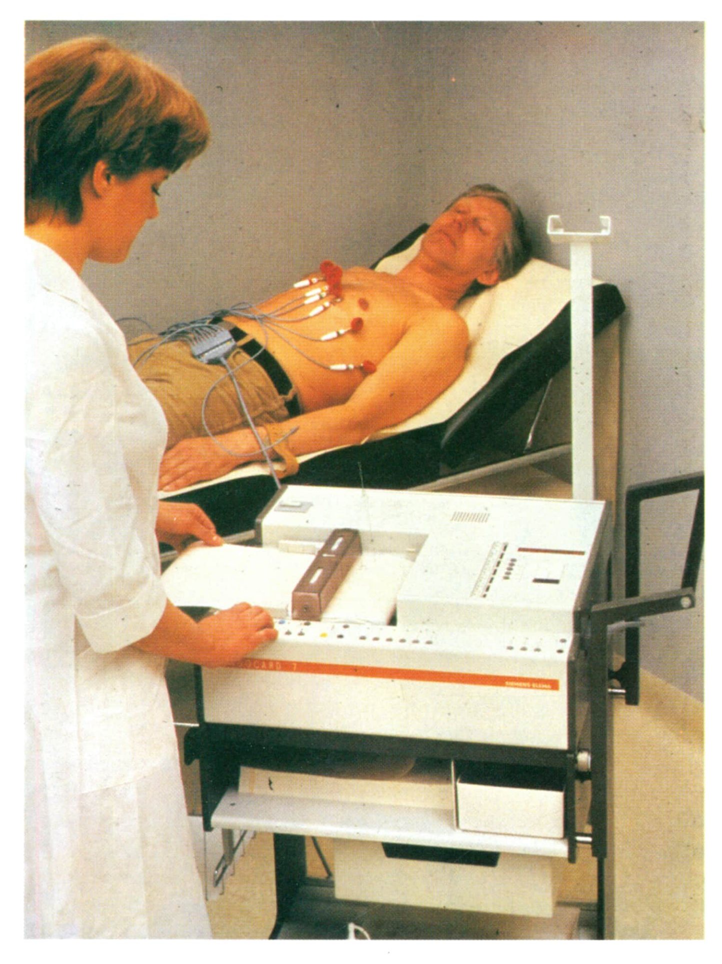
Uno de los tipos de transductores, aparentemente más sencillos son los denominados *electrodos* para captación de *señales bioeléctricas*. Ciertos tejidos del organismo presentan la particularidad de que generan débiles señales eléctricas que pueden ser captadas desde el exterior del cuerpo. La representación de estas señales, previa captación y amplificación, permite a ciertos especialistas disponer de una herramienta de diagnóstico muy valorada.



Registro simultáneo de electrocardiograma, sonidos cardíacos y señal de presión sanguínea.

Estas señales eléctricas son una manifestación de funcionalismo del tejido correspondiente. Así por ejemplo, en el caso del corazón, las señales que, recogidas desde el exterior, se denominan *electrocardiograma* (ECG) son debidas al mecanismo de sincronización cardíaco que permite que el corazón funcione como una bomba. Se consigue así que las diversas cámaras cardíacas se contraigan con la secuencia adecuada, de forma que se obtiene un rendimiento de bombeo adecuado.

En el caso de las señales bioeléctricas denominadas *electro-encefalograma* (EEG), lo que se recoge sobre la superficie del cráneo es la manifestación de la actividad bioeléctrica de las células que forman el cerebro; su significado es dudoso. Sin embargo, se ha venido utilizando esta señal desde hace bastante tiempo debido a que permite observar ciertos fenómenos característicos dentro del sistema nervioso, como por ejemplo *descargas epilépticas, asimetrías* entre los lóbulos cerebrales, etc.



Electrocardiógrafo de siete canales. Con este equipo pueden controlarse las respuestas de muchas zonas del cuerpo y comparar la influencia del corazón en diversos puntos al mismo tiempo. (Cortesía: Siemens).

Otro tipo de señales que se recogen con frecuencia son las denominadas señales *electromiográficas* (EMG). Ellas son debidas a la actividad bioeléctrica de los músculos. Toda contracción de fibras musculares voluntaria va precedida por el accionamiento de una orden derivada del sistema nervioso. Esta orden se transmite hasta el músculo a través de los nervios motores, desencadenando en las diversas fibras musculares una actividad bioeléctrica que precede a la contracción de aquéllas. Estas señales pueden ser registradas con el fin de determinar anomalías, tanto en el nervio motor, como en el propio músculo.

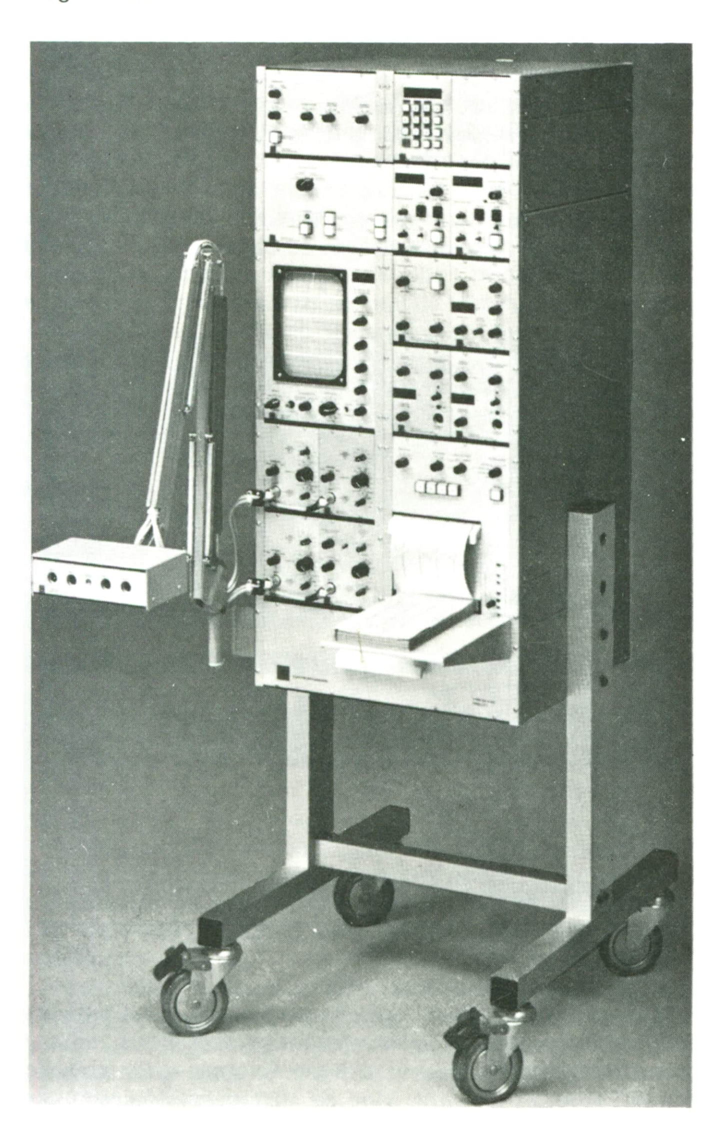


Electrocardiógrafo de tres canales. En muchos casos resulta suficiente cuando se desean efectuar comprobaciones rápidas sobre el paciente.

Pues bien, todas estas señales bioeléctricas son recogidas desde la superficie de la piel mediante lo que se denominan *electrodos.* Normalmente, suelen estar constituidos por un elemento metálico conectado a un cable exterior que conduce al *amplificador electrónico.* La parte metálica de los electrodos está constituida, a menudo, por una superficie de plata clorada. A esta superficie se suele adherir una capa de gel con el fin de evitar desperfectos debidos al movimiento de la superficie de la piel con respecto a los electrodos.

En definitiva. los electrodos convierten las débiles *corrien-*

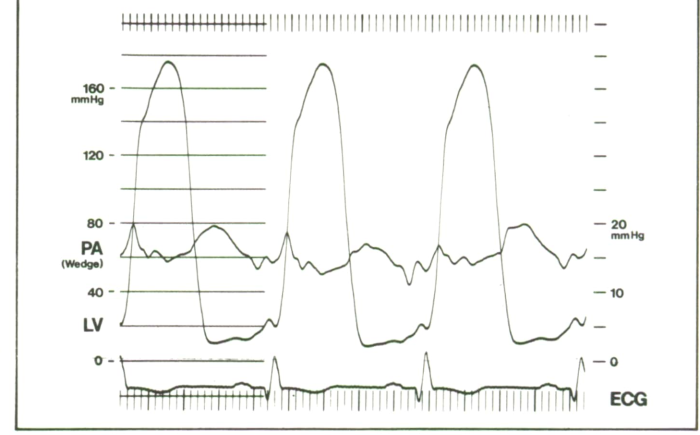
tes iónicas del interior del organismo en *corrientes electrónicas* que son posteriormente amplificadas y que, eventualmente, son representadas para la ulterior elaboración del diagnóstico.



Electromiógrafo de cuatro canales. Al estar montado sobre un bastidor con ruedas, le permite una gran movilidad por las diferentes salas del centro médico.

Cada una de las señales descritas, así como de otras de uso menos frecuente, son registradas y presentadas en equipos con denominaciones específicas. Así, existen *electrocardiógrafos, electroencefalógrafos, electromiógrafos,* etc.

Las características de los amplificadores respectivos están en consonancia con las propiedades de las señales a registrar. Las señales más rápidas, como el electromiograma, requieren amplificadores de una respuesta más amplia, es decir, que sean capaces de reproducir señales con frecuencias mayores. Por el contrario, las señales más lentas como el electroencefalograma requieren amplificadores de menores prestaciones. Es decir con anchos de banda o con velocidad de respuesta menor. Todo ello suele ir incluido en un único equipo con el que se incluyen los elementos adicionales que permiten conectar o desconectar diversos tipos de electrodos, definir los filtros a aplicar en cada caso, con el fin de eliminar señales indeseadas, variar las ganancias de los amplificadores, etc.

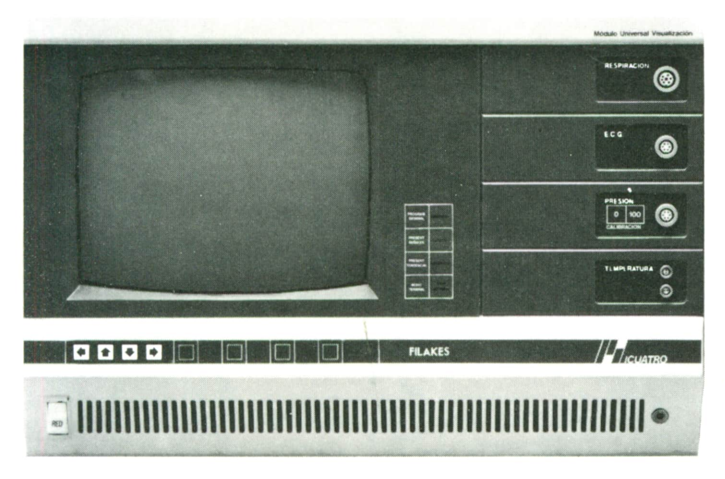


Registros obtenidos durante una cateterización cardiaca. PA = Presión en la aurícula; LV = Presión en el ventrículo izquierdo; ECG = Electrocardiograma de un paciente

Para que un ser vivo se mantenga en tal condición, es indispensable que llegue el alimento necesario a todas y cada una de sus células. Este alimento suele estar formado por el oxígeno y por una serie de sustancias que permiten

que las células realicen su propio metabolismo. Sería pues muy deseable disponer de un método que permitiese determinar el nivel de alimentación de las células de un organismo; sin embargo no es fácil de lograr.

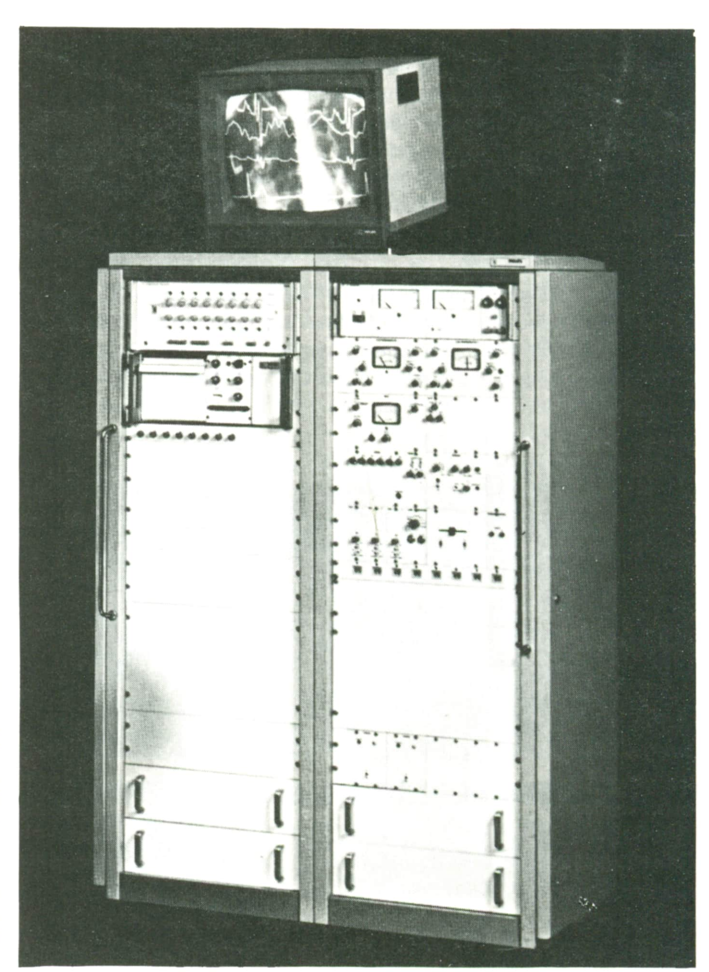
En consecuencia se recurre a realizar medidas indirectas para verificar la citada condición. En primer lugar se podría tratar de determinar el nivel de nutrientes en la sangre que es el vehículo a través del cual llegan éstos a las células. En tal caso se trataría de realizar medidas químicas que son difíciles de llevar a cabo en vivo. Otra forma en la que se podría realizar una medida indirecta sería la de determinar los *caudales de sangre* que llegan a un determinado punto. Ello es posible, sólo, en determinadas circunstancias.



Unidad de cabecera de un sistema de cuidados intensivos. Presenta, simultáneamente, mensajes alfanuméricos y curvas. Ha sido diseñado y fabricado con tecnología española. (Cortesía: Icuatro).

Asimismo, otra medida indirecta consistiría en determinar las *diferencias de presión* que existen entre distintos puntos del sistema circulatorio; en el caso de no existir obstrucciones entre los citados puntos, existirá un flujo de sangre adecuado.

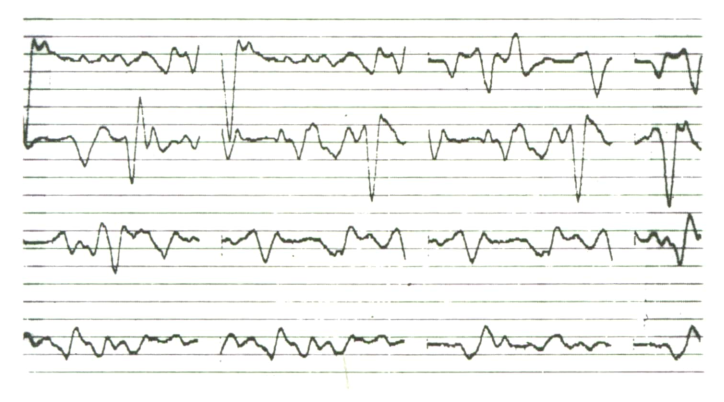
Finalmente, si no es posible determinar la diferencia de presión, se puede recurrir a medir sobre el mecanismo de sincronización de la bomba que impulsa a la sangre por todo el organismo. Este mecanismo de sincronización es de naturaleza bioeléctrica.



Equipo de laboratorio de cateterización cardíaca. Se muestran los diversos amplificadores y controles. Asimismo se puede observar en la pantalla la superposición de las señales de ECG y hemodinámicas, obtenidas sobre la imagen radioscópica de la zona donde se encuentra el extremo del catéter.

Todas estas medidas indirectas constituyen una graduación de posibilidades que se utilizan de hecho con mayor o menor frecuencia. Una de las posibilidades citadas consiste en medir la presión hidráulica dentro del sistema circulatorio; existen dos posibilidades para poder medir estas presiones. En primer lugar se puede proceder a medir introduciendo un tubo lleno de líquido en el interior de la zona donde se pretende medir la presión, conectado a un transductor de

presión externa, es decir a un sistema que convierta la presión hidráulica en una señal eléctrica proporcional. Sin embargo, ello presenta el inconveniente de que hay que acceder hasta el interior del organismo. Es por ello por lo que este tipo de medida sólo se realiza en condiciones extremas, tales como en los casos de intervenciones quirúrgicas o en los casos en los cuales la gravedad del paciente justifique una acción cruenta con el fin de asegurar de forma continua la medida del nivel de presión. Es lo que se conoce por la *cateterización* del paciente, a pesar de que la introducción de catéter o tubo hueco lleno de líquido solamente es una parte del sistema de medida.

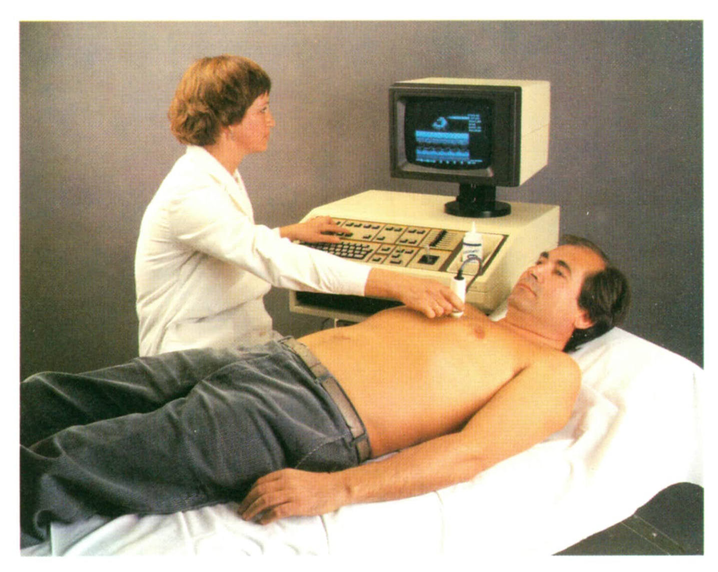


Registros discontinuos de potenciales electromiográficos de unidades motoras durante un esfuerzo voluntario débil. Están recogidos mediante electrodos de aguja clavados en el propio músculo.

Sin embargo, la forma más corriente de medir la presión sanguínea consiste en utilizar un *esfigmomanómetro*. Este dispositivo del cual existen multitud de versiones, alguna de las cuales utiliza la Electrónica cada vez con mayor frecuencia, consta de un brazalete neumático que es inflado mediante una botella de gas, o mediante un procedimiento manual. Una vez que se ha alcanzado la presión arterial se detiene el flujo de sangre en el brazo que es donde normalmente se aplica. Al ir bajando la presión, llega un momento en que comienza a pasar la sangre. Ese momento se suele distinguir por la aparición de unos sonidos característicos que son detectados, bien mediante un *estetoscopio*, o bien mediante un *micrófono*.

Al llegar a la presión mínima que existe en las arterias, los

sonidos emitidos, cambian de una forma característica. De esta manera se puede conseguir saber el valor de la *presión arterial máxima y mínima* que se da en un segmento del brazo. En todo el proceso se puede hacer intervenir a la Electrónica. Tanto en el sistema de inflado del manguito como en el sistema de detección de los sonidos, como en el sistema de memorización de las presiones alcanzadas, como en la medida propiamente dicha de la presión.



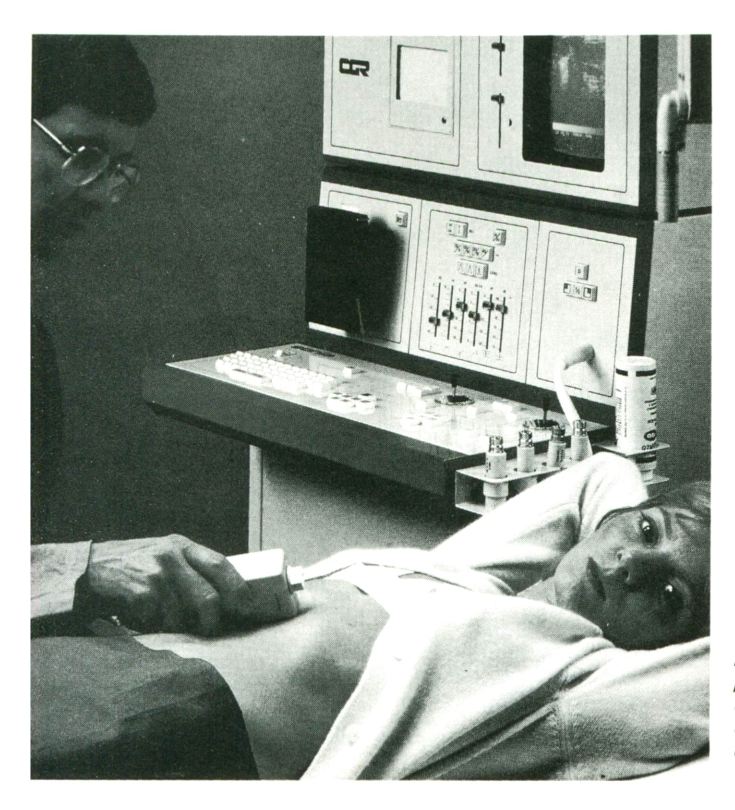
Aplicación del ecocardiógrafo sectorial ultrasónico, que presenta la característica de visualizar en una pantalla, como las de un computador, los parámetros vitales del enfermo o paciente. (Cortesía: Bioingeniería).

En el caso anterior se veía que hacía falta medir determinados tipos de sonidos. Esta función ha sido tradicionalmente realizada mediante un sistema puramente pasivo conocido como *estetoscopio*. Sin embargo, hoy existen sistemas que amplifican los débiles sonidos que permiten escucharlos con el nivel adecuado, o representarlos sobre un papel. Ello proporciona mayores posibilidades de diagnóstico, tanto en cardiología como en el caso de que se observen los sonidos pulmonares.

Tal como se comentó anteriormente, las medidas de *caudal* y *volumen de sangre* que llegan a una determinada zona del cuerpo pueden ser de gran interés.

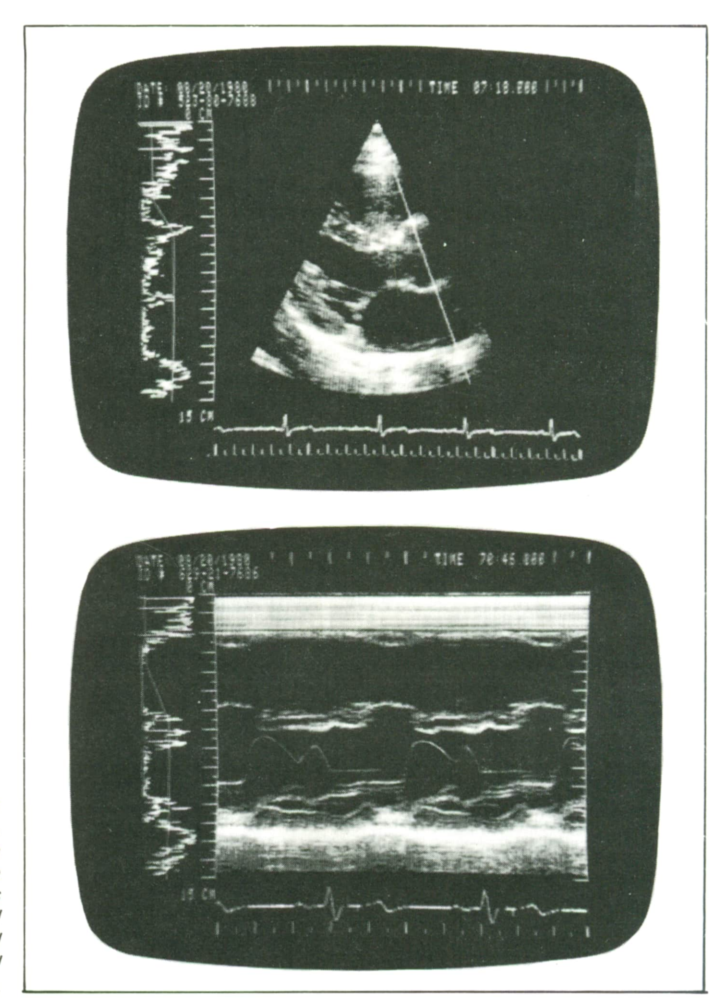
Las medidas de caudal se suelen realizar, por medio de

procedimientos electrónicos, de forma cruenta. Ello implica que sólo se realizarán en aquellos casos en los que las zonas a medir se encuentren expuestas, tales como a lo largo de una intervención quirúrgica. Sin embargo, es posible, mediante procedimientos incruentos medir los flujos de sangre globales que atraviesan una determinada zona del cuerpo. Existen diversos métodos para llevar a cabo esta medida. Sin embargo, quizás el más simple sea el denominado *método pletismográfico.* Básicamente, consiste en detener el flujo venoso por medio de la utilización de un brazalete, como el utilizado en esfigmomanometría. Al inflar el manguito, normalmente en una pierna o en un brazo, el segmento de miembro alejado del corazón sufre un engrosamiento; este engrosamiento se llega a estabilizar en el momento en el que la elasticidad de los tejidos y la presión



Ecógrafo de ultrasonidos para realizar observaciones mientras dura el proceso del embarazo. (Cortesía: Thomson).

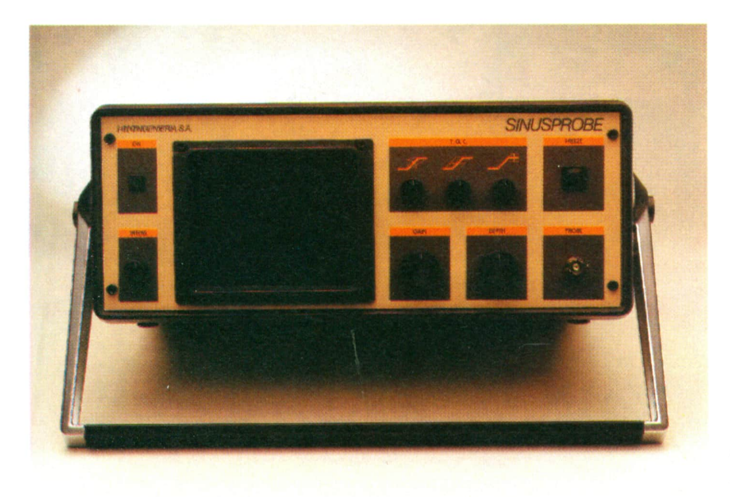
que se crea en el extremo distal del miembro compensa a la presión arterial. La tasa de incremento del volumen del miembro que se está considerando a partir del momento en el que se infla el manguito resulta ser proporcional al flujo de sangre arterial que entra en este segmento de miembro. Es por ello por lo que el método de medida de caudal global arterial resulta de medición simple e incruento.



Imágenes obtenidas de un ecocardiógrafo dinámico. Imagen en el denominado modo M del movimiento de las paredes y válvulas cardíacas. El eje vertical representa el desplazamiento y el horizontal el tiempo.

Existen varias formas de medir el incremento de volumen de un miembro. Desde métodos puramente hidráulicos, neumáticos, o eléctricos.

Finalmente, cabe reseñar, un tipo de medidas de caudal que están tomando un gran auge. Son medidas incruentas, aunque cualitativas. Su fundamento está en el uso de *ultrasonidos* o vibraciones mecánicas de alta frecuencia. Estas vibraciones se enfocan hacia una arteria y se recogen la multiplicidad de ecos producidos por las partículas que están en suspensión en el seno de la sangre que circula por dicha arteria. Después de una elaboración electrónica de la señal obtenida se puede estimar el valor de la forma del flujo sanguíneo que circula por la citada arteria.



Ecógrafo especialmente preparado para detectar la sinusitis.
(Cortesía: Bioingeniería).

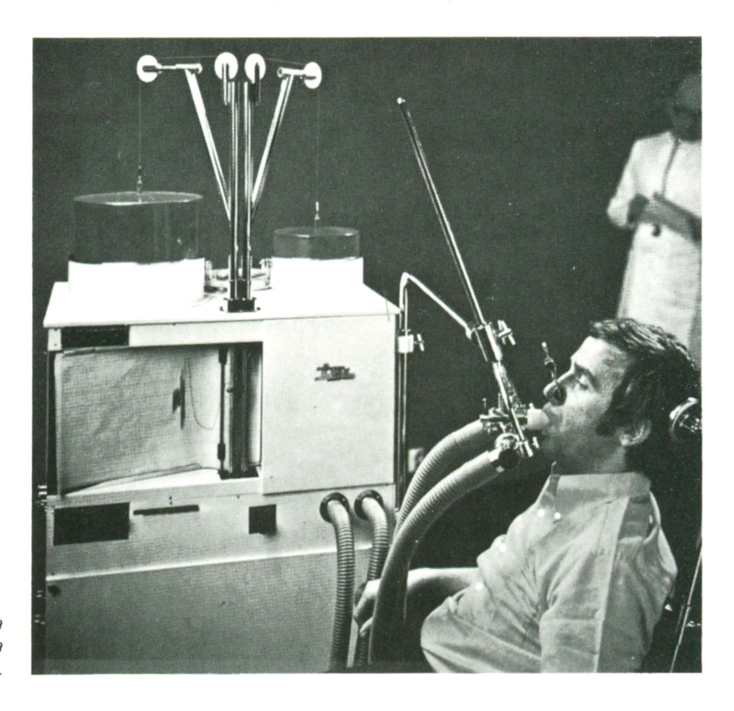
Este tipo de medidas suelen ser utilizadas a efectos comparativos entre zonas simétricas del cuerpo; así, en el caso de existencia de obstrucciones dentro del sistema circulatorio, se puede tratar de evaluar el diferente comportamiento de dos extremidades a fin de establecer en cual de ellas se produce la obstrucción y en qué medida.

En el *aparato respiratorio* se realizan dos tipos de medida. Por un lado las *medidas de tipo mecánico*—, a los

volúmenes de gases puestos en juego en diferentes situaciones. En segundo lugar, las *medidas de tipo químico.*

Mediante ellas se determinan los gases que se ponen en juego y otra serie de parámetros de interés.

Las medidas mecánicas se suelen realizar mediante lo que se denomina un *respirómetro.* Los respirómetros originales consistían en una campana invertida flotando sobre agua, de

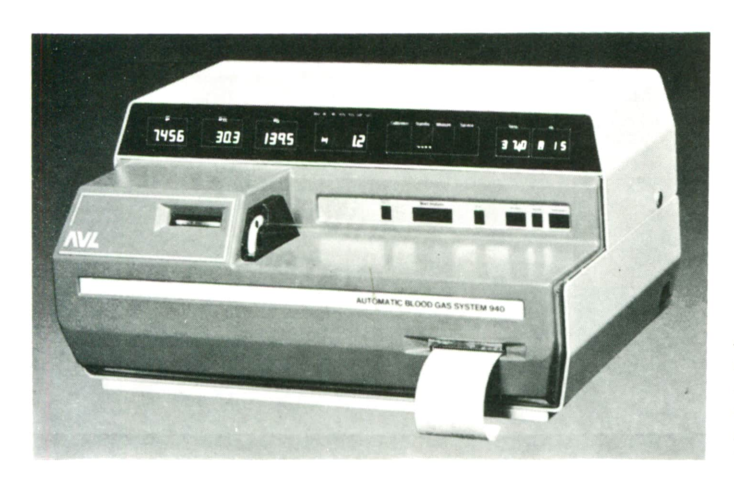


Respirómetro de agua para el estudio de la función pulmonar.

manera que el gas espirado hacía que esta campana subiese o bajase. Un sistema de poleas permitía reproducir sobre un papel los movimientos de la campana proporcionales a los volúmenes de gases puestos en juego. Los sistemas actuales hacen uso de un transductor denominado *neumotacógrafo.* Este dispositivo mide los volúmenes de gases por medio de la evaluación de flujo de gas que pasa a través de él. El neumotacógrafo se conecta a la boca impidiéndole al paciente respirar por la nariz; un transductor de presión y un sistema electrónico adicional permiten obtener los volúmenes de gas a partir de medios de diferencia de presión.

En cuanto a las medidas químicas, se suelen utilizar sistemas para la medida de oxígeno. Las medidas de nitrógeno son especialmente interesantes para determinar la capacidad residual de los pulmones. Es decir, aquel volumen disponible en los pulmones que, normalmente no se pone en juego en una respiración forzada.

El *laboratorio clínico* es hoy una pieza clave dentro del hospital. En él se realizan toda una serie de pruebas sobre sustancias extraídas de los pacientes que suelen presentar un alto interés diagnóstico. En los grandes hospitales se suele disponer de *analizadores automáticos* que realizan una serie secuencial de pruebas sobre sustancias que se les presentan. La salida de información se realiza en forma de *listado o de gráficos* que son de fácil interpretación para el especialista. No obstante también se realizan algunas pruebas aisladas mediante aparatos específicos.



Analizador auomático de gases en la sangre, que efectúa la lectura de modo digital de todos los parámetros que se están controlando.

Así, la medida del contenido de gases en la sangre o la medida del pH de ciertas sustancias, o las medidas de contenido de determinadas sustancias en líquidos específicos, pueden ser realizadas mediante equipos convencionales. Sin embargo, la inmensa mayoría de ellos hacen un uso extensivo de la Electrónica.

En definitiva se trata, la mayor parte de las veces, de realizar, de la forma más rápida posible, análisis de

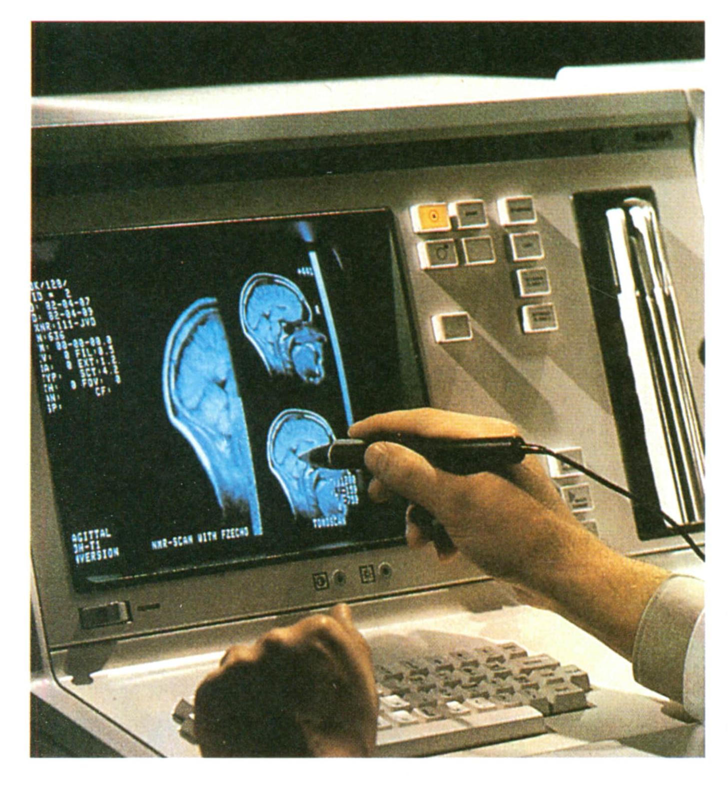
sustancias orgánicas complejas, tanto desde un punto de vista cuantitativo como cualitativo.

Asimismo, interesa a veces realizar medidas sobre células, tales como las que se encuentran en la sangre. Ello se ha venido realizando tradicionalmente, bien por *métodos ópticos*, o bien por *métodos eléctricos*. Tal es el caso de los contadores de células basados en la existencia de un vaso con un pequeño poro o a través del cual se provoca un flujo de un líquido que contiene células en suspensión. Cada vez



Equipo ultrasónico que permite la reproducción en tiempo real de los órganos situados cerca de la piel. Además permite la reproducción de los vasos sanguíneos periféricos siguiendo la técnica Doppler y el correspondiente espectro. (Cortesía: Siemens).

que una célula atraviésa el poro se produce una variación en las características del camino eléctrico entre el interior y el exterior del vaso; ello permite generar una señal eléctrica cada vez que una célula pasa. Así se puede determinar el número de células en suspensión.



La indicación visual es esencial en los sistemas de diagnóstico médico denominados NMR (Resonancia Magnética Nuclear). (Cortesía: Philips).

No obstante, la mayor parte de los sistemas utilizados hoy en un laboratorio químico, son sofisticados equipos electrónicos que hacen uso de avanzadas técnicas de medición en química orgánica, y especialmente diseñados para la aplicación médica.

La *visualización de tejidos internos* del organismo mediante métodos incruentos constituye una de las mayores aportaciones de las tecnología al diagnóstico médico.

Existen hoy varias técnicas que permiten llevar a cabo esta función. Estas técnicas suelen ser complementarias entre sí. Es decir, cada una de ellas se suele aplicar para tratar de buscar determinados tipos de alteraciones en los tejidos observados.

La técnica más antigua son los *Rayos X*. Esta técnica desarrollada a principios de siglo se ha mantenido prácticamente inalterada hasta nuestros días. Básicamente consiste en disponer un generador de Rayos X al otro lado del paciente, de forma que los rayos generados lo atraviesen e incidan sobre una película que se impresiona y que al revelarla permite determinar las diferencias de absorción de los tejidos que la atraviesan. Esta técnica sirve para visualizar tanto zonas de tejidos blandos como zonas de tejidos duros. Dependiendo de la tensión a la que se alimente el tubo generador de Rayos X, los rayos emitidos presentan propiedades que hacen resaltar la presencia de unos u otros tejidos.

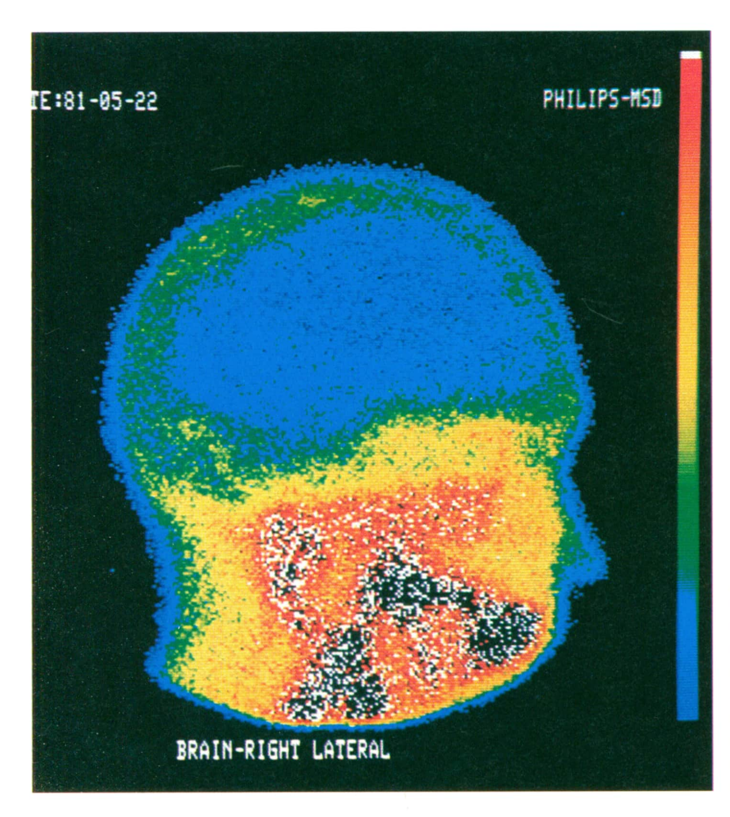
El generador de Rayos X no es más que un tubo de vacío en el cual un filamento emite electrones que son acelerados hasta incidir con una superficie metálica, normalmente de tungsteno o de un metal duro. La incidencia del chorro de electrones sobre este metal provoca la emisión de radiación electromagnética de alta frecuencia, conocida como Rayos X, que sale fuera del tubo a través de su envoltura de vidrio.

Otra técnica de visualización de tejidos que actualmente se encuentra en fase de evolución tecnológica, es la denominada *termografía.*

La determinación de la distribución de temperatura permite detectar zonas más o menos frías que otras, y en general, irregularidades en la distribución de temperaturas. Esta técnica se puede utilizar, por ejemplo, para buscar anomalías en la irrigación superficial del cuerpo por el sistema circulatorio. Con ello se pueden detectar tumores (zonas normalmente más cálidas por exceso de irrigación), obstrucciones de arterias o venas (zonas más frías) por deficiencia en la circulación, etc.

La posibilidad de disponer de una herramienta que permitiese estudiar el funcionamiento de ciertos tipos de tejidos, condujo, en su momento al desarrollo de las *técnicas de marcado* de sustancias y *de exploración del cuerpo* en la búsqueda de estas sustancias marcadas. El marcado de sustancias consiste en utilizar *isótopos* ligeramente radioac-

tivos de sustancias metabólicamente asimilables. Al ingerirlas, o al ser inyectadas, estas sustancias se suelen depositar al cabo de un cierto tiempo en tejidos específicos. Así una vez estabilizadas, estas zonas emitirán una mayor *radioactividad* que el resto del cuerpo.



La distribución de la temperatura (termografía) en los diferentes tejidos del organismo, permite detectar anomalías en el riego sanguíneo de diferentes zonas,, lo que a su vez facilita el diagnóstico de tumores y otras irregularidades.

La exploración mediante detectores de radiación en las zonas que se pretende observar, aporta una medida cualitativa y cuantitativa del grado de absorción de las sustancias marcadas. Estas técnicas se han estabilizado en la actualidad. Es decir después de un desarrollo experimentado a lo largo de los años 60, se considera que su utilización es suficientemente satisfactoria. Así, se han desarrollado *gammacámaras* que permiten una exploración de zonas

determinadas del cuerpo para observar la radiación gamma emitida por diversos tipos de sustancias de forma automática. Con ello se obtienen imágenes características que pueden ser analizadas por computador para determinar el nivel de funcionamiento de los tejidos observados.

Una de las técnicas más en auge para la *visualización incruenta de tejidos* es la que hace uso de los *ultrasonidos*. Los ultrasonidos son vibraciones mecánicas de elevada frecuencia y, por lo tanto inaudibles. Así por, ejemplo, se utilizan frecuencias que van entre 2 y 10 MHz (megahercios) dependiendo del tipo de tejido que se pretenda visualizar.

La mayor parte de los sistemas de visualización de tejidos, se basan en la emisión de un estrecho impulso de vibración mecánica que se refleja en las interfases de tejidos llegando a dar una imagen de su forma.

Existen varias modalidades en la utilización de los ultrasonidos. En la más simple de ellas, la que se caracteriza por la obtención de imágenes estáticas, se desplaza el emisor-receptor a lo largo de la superficie de la piel almacenándose en una pantalla adecuada las formas que reiteradamente va captando el traductor.

En los sistemas dinámicos, a una velocidad de 25 imágenes por segundo, normalmente se refleja la actividad o el movimiento de los tejidos irradiados. Esta modalidad denominada de imágenes dinámicas, está especialmente indicada en el estudio de los movimientos cardíacos.

Para el examen de otros tipos de tejidos, como pueden ser los tejidos blandos del abdomen, se suele preferir la utilización de imágenes estáticas.

Un campo en el que los ultrasonidos han encontrado una aplicación muy extensa, es el de la determinación del *desarrollo normal del feto* dentro del seno de la madre. La medición periódica del diámetro encefálico, obtenida a través de las imágenes ultrasónicas del abdomen materno, permite obtener un criterio bastante fiable sobre la normalidad de crecimiento fetal.

Un *tomograma* es la imagen correspondiente a un corte de un determinado cuerpo. La *tomografía de Rayos X axial por computador* es una técnica que ha venido a revolucionar el diagnóstico médico en ciertas áreas y que permite obtener cortes o tomogramas de diversas secciones del cuerpo, normalmente perpendiculares a un eje según la longitud

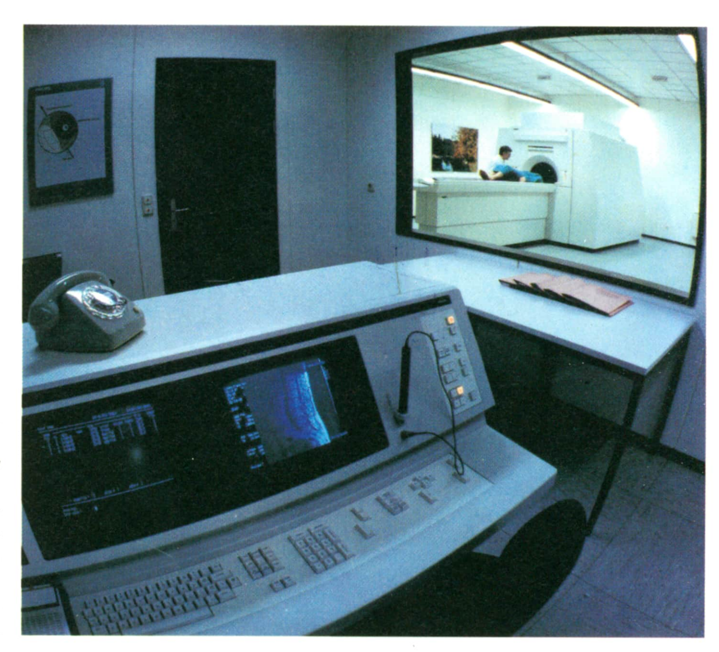
mayor del individuo. Resultaría imposible, desde un punto de vista práctico, obtener tomogramas por Rayos X sin ayuda de un computador. El sistema se basa en disponer un generador de Rayos X y multitud de detectores situados, normalmente, formando un círculo. Dentro de este círculo se sitúa al paciente colocado en el mismo plano al generador de Rayos X y a los detectores, así como a la sección del cuerpo



La técnica basada en la Resonancia Magnética Nuclear, permite construir imágenes detalladas de la estructura de órganos vivos sin necesidad de utilizar Rayos X o radioisótopos. (Cortesía: Dto. de Física de la Universidad de Nottingham).

del paciente que se desea explorar. Durante un tiempo cada vez más escaso, a medida que la tecnología avanza, se obtienen diferentes vistas del paciente sobre los detectores que forman el sistema. Así a partir de determinadas proyecciones de la absorción por los tejidos del paciente de los Rayos X emitidos, es posible reconstruir la forma que presenta la sección en cuanto a sus propiedades de absorción de estas radiaciones. En definitiva se obtiene una

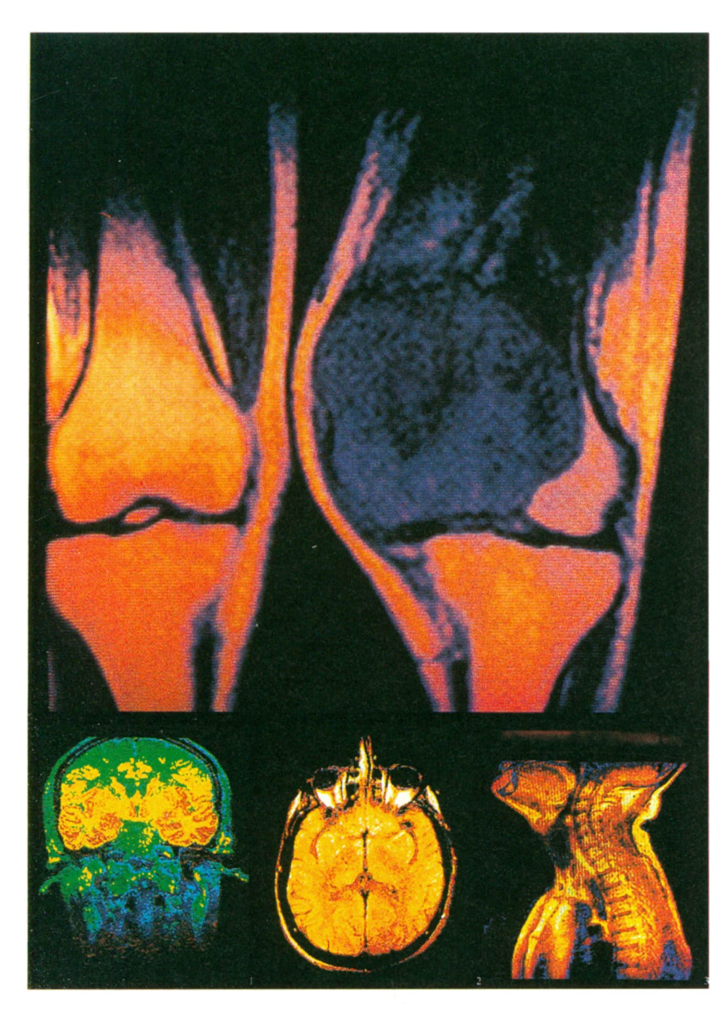
imagen de alta definición que se viene a corresponder con las delimitaciones de los diferentes tejidos que se encuentran dentro de la sección explorada. Este sistema se puede utilizar tanto para tejidos blandos como para tejidos duros. De hecho se comenzó a utilizar para observaciones del cráneo, empleándose posteriormente para la observación de tejidos blandos como los presentes en el abdomen.



Ejemplo de una aplicación de la Resonancia Magnética Nuclear. En las pantallas se observan imáenes del cuerpo del paciente, así como distintos datos numéricos solicitados, de interés para un diagnóstico eficaz. Universidad de Colonia. (Cortesía: Philips).

La última novedad en cuanto a visualización de tejidos incruenta es la aportada por las técnicas de *resonancia magnética nuclear.* Las radiaciones X y las radiaciones nucleares presentan el inconveniente de que pueden producir efectos secundarios, si las intensidades de radiación o las frecuencias de observación son suficientemente elevadas. Los ultrasonidos provocan muy pequeños efectos, aunque aún se estudia su inocuidad. Sin embargo el sistema utilizado en la técnica de resonancia magnética nuclear, se puede considerar como prácticamente inocuo.

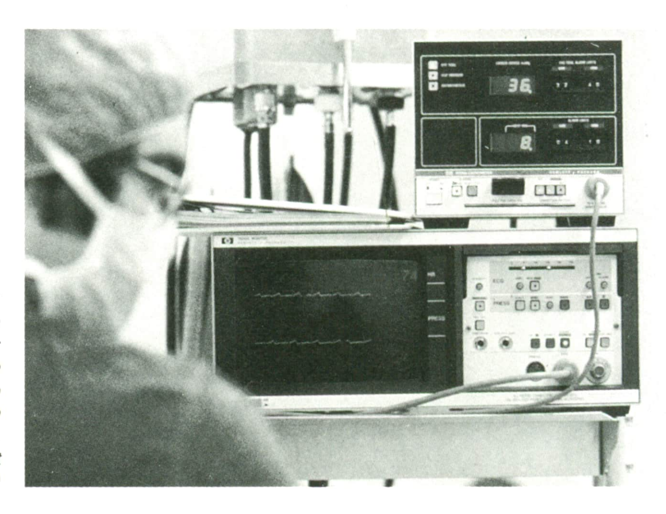
Esta técnica se venía utilizando desde hacia años en



Aplicaciones de imágenes obtenidas por Resonancia Magnética Nuclear. En la parte superior se observa un osteosarcoma, y debajo otras imágenes del cerebro y de la espina dorsal. Este procedimiento utiliza las propiedades físicas y químicas de los protones sometidos a un campo magnético a través del cuerpo humano. (Cortesía: Thomson).

ciertos tipos de análisis clínicos. Sin embargo una elaboración de esta técnica y una mejora en la tecnología de creación de campos magnéticos intensos ha permitido diseñar un sistema electrónico que presenta la particularidad de obtener imágenes de buena calidad que no sólo permiten el estudio morfológico de los tejidos de una determinada sección del paciente, sino también su funcionalismo.

En efecto, lo que se observa con los actuales sistemas de resonancia magnética nuclear es la densidad de núcleos de hidrógeno presentes en una determinada sección. Es necesario tener presente que el hidrógeno es un elemento muy corriente en la química del organismo. Así, está presente en el agua, en sustancias orgánicas y en diversos tipos de sustancias minerales. Sin embargo, el sistema será utilizable en el futuro para determinar la presencia y la densidad de átomos de elementos tales como el fósforo y otros.



Monitor de vigilancia intensiva en el que se producen las alarmas correspondientes ante cualquier anomalía o disfunción momentánea del paciente. (Cortesía: Hewlett Packard)

VIGILANCIA Y CONTROL DE PACIENTES

Existen diversos tipos de situaciones críticas en las que se puede encontrar un paciente que requieren un *control continuo* de determinadas variables, y la posibilidad de que se generen *alarmas*, ante la aparición de determinadas situaciones de peligro. El conjunto de equipos y sistemas que cubren esta función de vigilancia continua de un paciente, es decir de medida continua de sus variables, evaluación de los valores obtenidos y emisión eventual de alarmas es lo que se engloba bajo la denominación de equipos de vigilancia continua o de cuidados intensivos (UVI).

En primer lugar, se dan situaciones críticas en pacientes recién operados, que hayan sufrido determinados tipos de traumatismos y en aquellos especialmente, que han sufrido sucesos anormales en su miocardio. Dependiendo de cual sea la situación que cree el problema concreto, se encontrarán unidades de vigilancia intensiva *traumatológicas, postquirúrgicas* o *coronarias*, respectivamente.

En estos tipos de unidades, las variables que normalmente se miden son el electrocardiograma, el pulso, la presión sanguínea, la temperatura, etc. Sin embargo se ha de tener presente que todas estas medidas han de ser realizadas de forma continuada. Es por ello, por lo que la instrumentación electrónica utilizada, presenta propiedades características.



Servicio de vigilancia de un enfermo mediante equipos electrónicos. La enfermera recoge en el equipo todos los datos del paciente sometido a una vigilancia especial, gracias a los electrodos aplicados sobre el enfermo.
(Cortesía: Siemens).

En muchos casos la presión sanguínea se mide de forma directa, es decir mediante la inserción de un catéter en una arteria para así obtener la señal correspondiente a las

variaciones de presión arterial. Normalmente estos sistemas incorporan un *medidor de frecuencia cardíaca* que da una alarma tanto en el caso de que esta frecuencia sea muy elevada (taquicardia) como en el caso de que esta frecuencia descienda por debajo de un nivel de seguridad (bradicardia).

Asimismo se suelen situar alarmas fijando los límites entre los cuales se puede mover la presión arterial máxima y mínima; todas estas señales y las informaciones que de ellas se derivan se suelen presentar bien en un equipo de cabecera del paciente, bien en un equipo central, que recoge la información correspondiente a varias camas; ésta es la que se denomina estación central de una unidad de vigilancia intensiva (UVI).



Incubadora. Siemens ha desarrollado un método para la detección de la actividad respiratoria de prematuros y recién nacidos. Este nuevo método de contactos, prescinde de electrodos y por ello es muy fiable al variar la postura del niño.

Otra situación crítica que se puede contemplar es la que se da en el caso de niños *prematuros* o bien de enfermedades de recién nacidos. Los tipos de equipamiento necesarios que se requieren para vigilar a estos pequeños pacientes, suelen ser muy específicos debido a la naturaleza de la misión encomendada y a las condiciones en las que ésta se ha de desarrollar. Así la mayor parte de los sistemas de cuidados neonatales o *cuidados intensivos pediátricos* suelen ir asociados con una *incubadora*, o sistema en el cual la temperatura y el flujo de aire se mantienen controlados. En estos sistemas se suele medir la frecuencia respiratoria, la frecuencia cardíaca, la temperatura, etc.

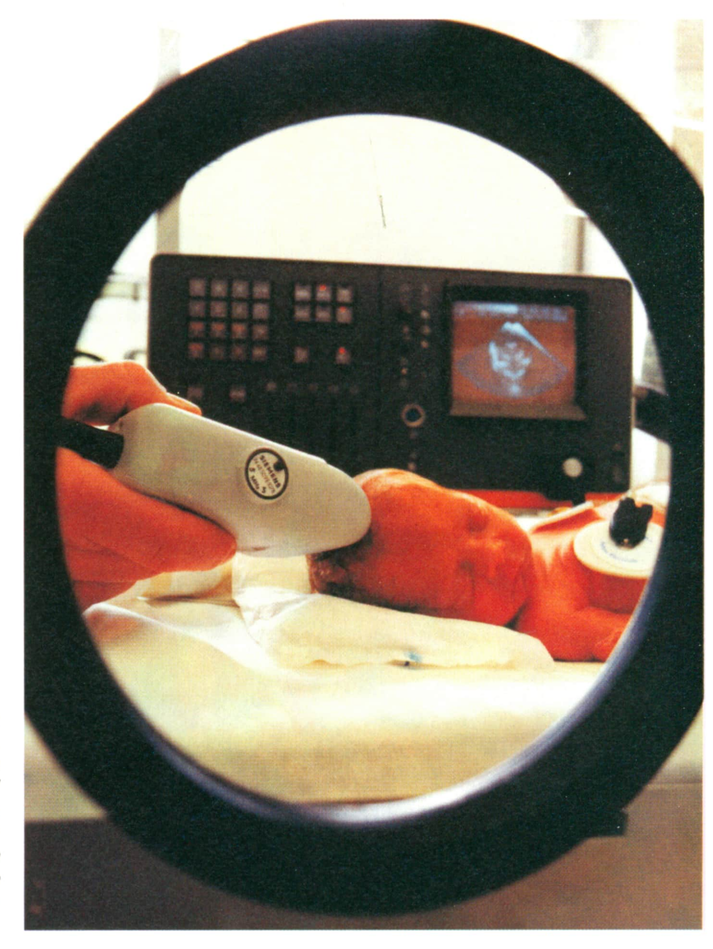
Un tercer tipo de sistemas de vigilancia continua suelen ser los que se utilizan para el *control del desarrollo del parto*. Se ha normalizado después de una amplia experiencia el tipo de variables a medir durante el parto para controlar el estado del feto y de la madre. Los equipos que realizan esta misión se suelen denominar *cardiotocógrafos*. Su misión consiste en medir los aumentos de presión que se producen en el útero, previos a la expulsión del feto y la frecuencia cardíaca del feto. La correlación entre ambas variables determina el



Durante una operación deben vigilarse cuidadosamente todas las constantes vitales del paciente. Un médico especialista debe saber «leer» en los instrumentos los valores de ritmo cardíaco, presión, respiración, temperatura, etc.
(Cortesía: Siemens).

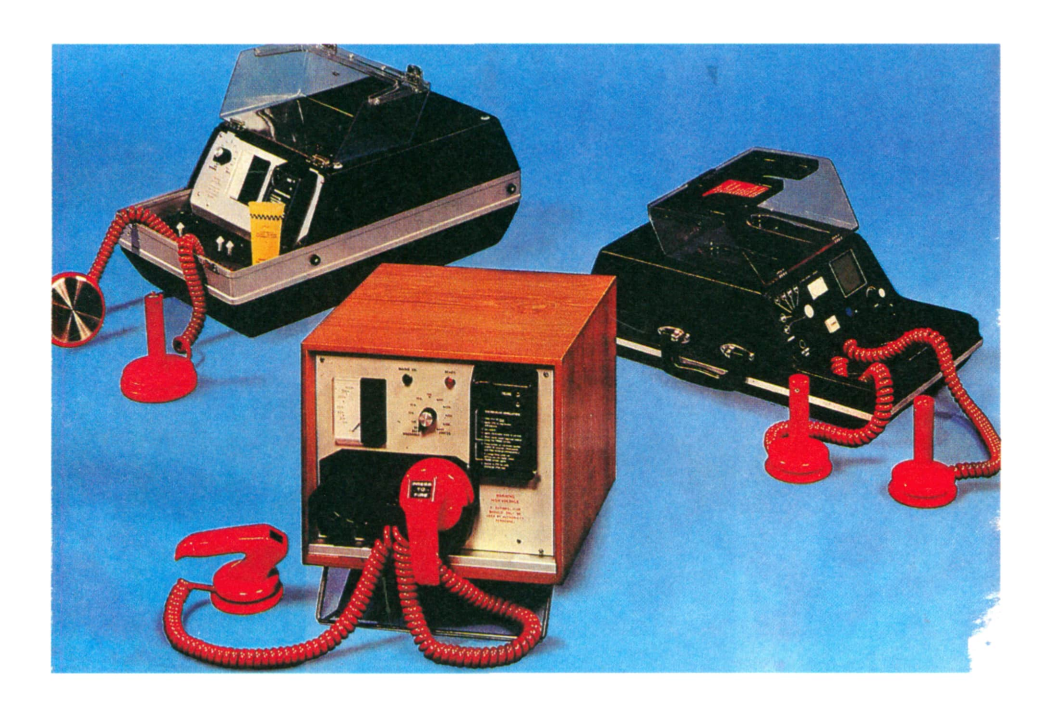
estado de reactividad del feto ante los esfuerzos mecánicos a los que está sometido a lo largo del proceso de parto. El sistema permite determinar la conveniencia de provocar o acelerar el parto o incluso, la oportunidad para realizar una extración mediante cesárea de la madre.

La mayor parte de los equipos descritos suelen incorporar, de una forma o de otra, un computador. La tendencia suele ser a que los instrumentos sean lo suficientemente inteligentes, por medio del uso interno de microcomputadores como



La vigilancia de los bebés en las incubadoras, requiere utilizar medios que no sean molestos al recién nacido. En la fotografía se observa un equipo scaner, para diagnóstico mediante ultrasonidos. (Cortesía: Siemens).

para que la atención que requieran por parte del personal médico sea mínima. En otros casos se sitúa, explícitamente, un computador, como coordenador de las actividades de un conjunto de instrumentos. Tal suele ser el caso de las unidades de vigilancia intensiva (UVI).



Diferentes tipos de desfibriladores para reestablecer el buen funcionamiento del corazón en pacientes afectados de paros cardíacos, u otras anomalías.

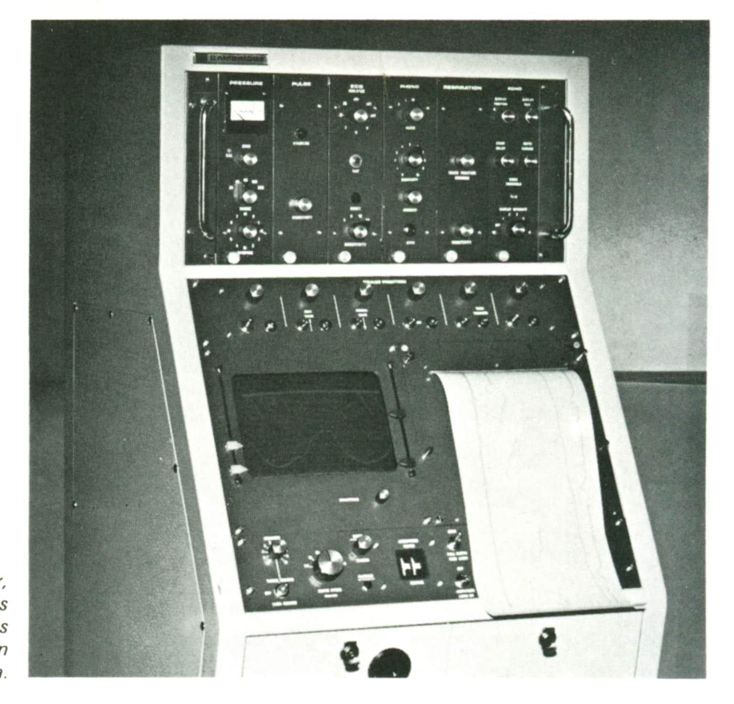
LA ELECTRONICA EN AYUDAS TERAPEUTICAS

Existen multitud de equipos electrónicos utilizados para realizar algún tipo de acción sobre el enfermo. Por otra parte cada vez existe una tendencia más acusada para introducir la Electrónica en equipos que hasta hace poco eran por completo mecánicos.

Un ejemplo sencillo de equipo electrónico es el *desfibrilador*. En determinadas condiciones, el mecanismo bioeléctrico de sincronización de la contracción de las diversas zonas cardíacas, se ve alterado. La alteración más grave que puede sufrir es la denominada *fibrilación*. Este fenómeno consiste

en que cada zona cardíaca actúa independientemente del conjunto. De esta forma, el corazón parece palpitar sin producir un efecto neto de bombeo del caudal sanguíneo.

Una forma de resincronizar al músculo cardíaco consiste en aplicar una súbita corriente de alta intensidad sobre la superfície del tórax; ésta es la función de un desfibrilador. Se suele cargar un condensador de gran capacidad, con una tensión elevada, para después descargarlo de pronto por medio de dos electrodos grandes que se sitúan sobre el tórax encima del corazón. Los desfibriladores suelen incluir mecanismo de control adicionales para evitar que el corazón se sitúe de forma irreversible en situación de fibrilación. Para ello se suele detectar el residuo de señal electrocardiográfica



Polígrafo con registrador, basado en fibras ópticas para registro de señales biológicas de variación rápida.

que pudiese existir, evitando que el desfibrilador descargue durante un período denominado sensible, lo que agravaría el fenómeno.

Otro equipo que ha tenido un gran éxito, encontrándose actualmente en prácticamente todos los quirófanos es el *electrobisturí*. Su fundamento consiste en la aplicación de una corriente eléctrica de alta frecuencia (entre 0,5 y 1 MHz) sobre un punto de escasa superficie en contacto con los tejidos vivos.



Electrobisturí desarrollado por la firma española Icuatro, que incorpora la más avanzada tecnología electrónica. Además de la función específica de corte de los tejidos, efectúa simultáneamente la coagulación de los vasos sanguíneos cortados.

Se puede demostrar que la concentración de energía que ello supone, eleva la temperatura del punto de contacto extraordinariamente, provocando la destrucción del tejido en el punto de que se trate. Con ello se suelen conseguir dos objetivos. Por un lado se consigue realizar el corte, tal como se haría con un instrumento mecánico, y por otro se suele conseguir mediante los adecuados controles la *hemostasia* o falta de efusión sanguínea. Actualmente existen intentos alternativos de realización de un bisturí electrónico, utilizando *técnicas de láser* o de *la llama de plasma*; en cualquier caso todos estos sistemas dependen, de forma exclusiva del desarrollo y la tecnología electrónica.

Existe un conjunto de equipos denominados de *terapia física*. Todos ellos tienden a la aplicación de determinados tipos de energía para conseguir efectos concretos sobre el paciente sin necesidad de utilizar productos farmacéuticos. Así, en *rehabilitación* puede interesar favorecer el riego sanguíneo por zonas que han sufrido algún tipo de

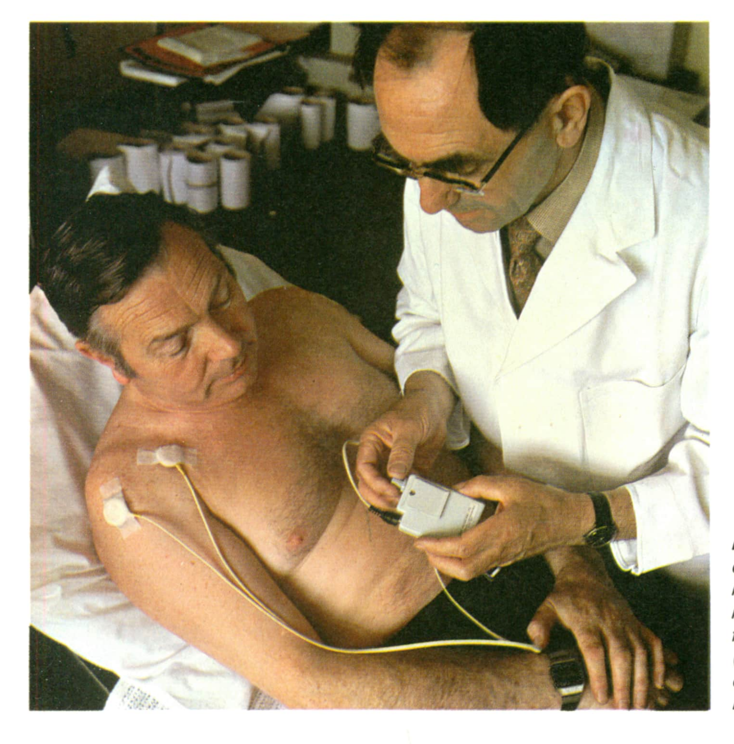


Este aparato de termoterapia por ondas decimétricas de Siemens, es de construcción compacta, y permite ser aplicado en diversidad de lugares y posiciones del cuerpo humano.

traumatismo o fractura. Ello se suele conseguir mediante la aplicación de *ondas electromagnéticas* de energía suficiente, en los equipos de onda corta, o bien mediante la aplicación de *ultrasonidos de alta energía*. Las vibraciones mecánicas, en el último caso, o la disipación de la energía electromagnética enviada, en el primero, provocan una elevación local de temperatura que favorece la circulación, provocando el efecto deseado.

Caso aparte es el que pretende la destrucción de tejidos

por ser éstos indeseables. Ello se consigue mediante la irradiación a partir de una *fuente radioactiva* con energía suficiente de las zonas afectadas que, normalmente, suelen ser tumores. Para ello se suelen disponer diversas fuentes confluyentes de forma que se irradie con la máxima intensidad la zona a destruir evitándose, en lo posible la irradiación intensiva de los tejidos circundantes.

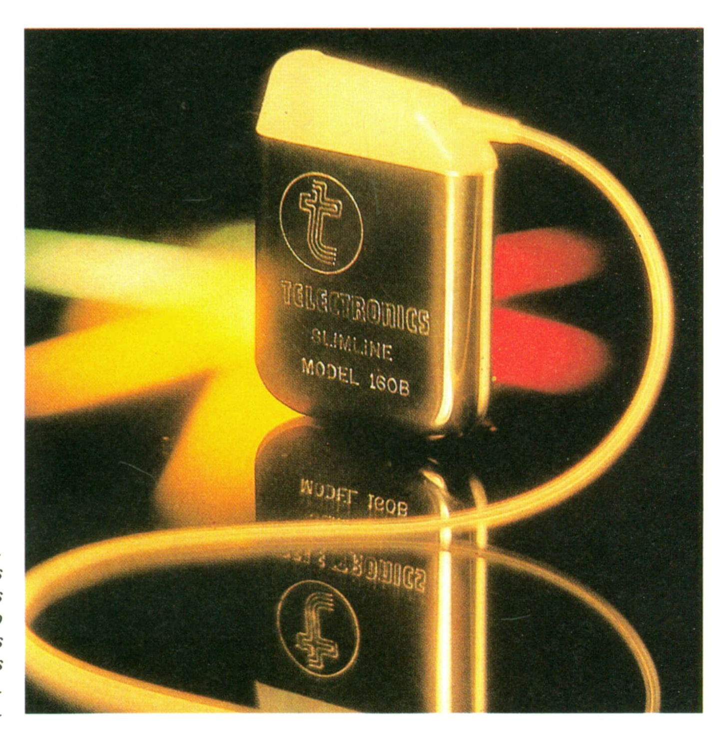


Dispositivo inhibidor del dolor que administra impulsos eléctricos de un minuto a muy altas frecuencias. (Cortesía: Dto. de Cirurgía de la Universidad de Birmingham).

Otros equipos terapéuticos también hacen uso de la Electrónica en mayor o menor medida. Entre ellos cabe citar los ventiladores o *respiradores artificiales*, que provocan la respiración automática del paciente independientemente de su voluntad, las *incubadoras*, que mantienen el entorno del neonato en condiciones elementales muy precisas, los *equipos de anestesia*, que cada vez son más complejos y requieren mayores controles, etc.

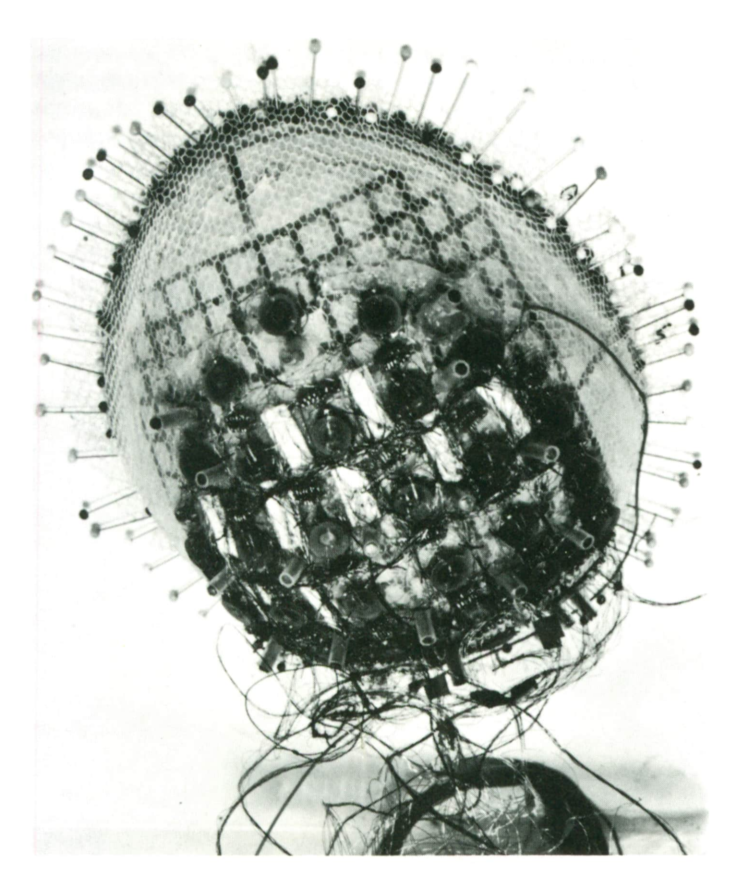
LA ELECTRONICA EN LAS AYUDAS FUNCIONALES

Se entiende como ayuda funcional todo dispositivo que tiende a compensar alguna deficiencia del organismo. La tendencia de la Electrónica a hacer posible la realización de dispositivos más complejos y de más reducido tamaño, aporta posibilidades inéditas actualmente. El dispositivo de más éxito de entre las ayudas funcionales, quizás sea el *marcapasos.*



Marcapasos implantable. Estos pequeños dispositivos son capaces de regular el ritmo cardíaco de los enfermos propensos a disfunciones del corazón. (Cortesía: Telectronics).

Cuando el mecanismo de sincronización de las contracciones cardíacas presenta anomalías de forma continuada, es necesario disponer algún sistema que compense esta deficiencia. Los marcapasos actuales presentan una gran versatilidad, sin embargo todos ellos realizan una función



Sistema experimental para inducir un cierto tipo de visión en ciegos. La foto muestra un conjunto de receptores que se implantan en el cerebro; a ellos se hacen llegar estímulos eléctricos, a través de la piel, obtenidos de un análisis previo.

similar. En definitiva se trata de provocar por medios eléctricos la contracción cardíaca cuando ésta no se da de forma natural o cuando se da de una forma inadecuada. Para ello se suele implantar debajo de la piel un *generador de impulsos* unido a un cable que se hace llegar hasta el corazón, anclándose, bien en su interior, o bien en su pared externa. Estos generadores son cada vez más complejos. En los últimos se puede, desde el exterior, variar los parámetros de la estimulación, tales como frecuencia, anchura de impulso, amplitud del impulso de estimulación, etc. Asimis-

mo, estos marcapasos suelen disponer de una pequeña inteligencia, la cual consiste en que no emiten un impulso a menos que el corazón no presente una actividad bioeléctrica normal. Son los que se denominan *marcapasos de demanda.*

El objetivo de futuro consiste en disponer de unos sistemas que se adapten a los requerimientos instantáneos



Equipo electrónico utilizado por invidentes. Obsérvese que la disposición de las teclas que gobiernan el computador, están más cerca de los dedos, que los clásicos teclados planos y estilizados, de los equipos corrientes.

del individuo. Es decir, se trataría de que dependiendo del caudal sanguíneo necesario para realizar las funciones normales del individuo se alterasen los parámetros de estimulación, de la misma forma que lo hace el corazón natural.

De entre las ayudas sensoriales de más éxito, es decir aquellas dedicadas a compensar deficiencias de los sentidos cabe citar los *audífonos.* En el caso de deficiencias auditivas, un incremento del nivel de sonido que alcanza al oído externo, o una compensación de las frecuencias recibidas, constituye el método adecuado para conseguir una audición casi normal; se consigue mediante los audífonos.



Audiómetro utilizado para verificar la respuesta auditiva. El instrumento envía diferentes frecuencias a niveles variables para conocer el comportamiento de cada uno de los oídos. (Cortesía: Brüel & Kjaer).

Existe otro tipo de *prótesis sensoriales*, o elementos sustitutivos de una determinada función. Tales serían los equipos destinados a la *lectura de ciegos* por medio de la

utilización del código Braille. Hay una amplia gama de tales dispositivos que convierten las letras de un libro en señales Braille que son detectadas mediante los dedos del invidente.

Existen también varios intentos de compensar las *deficiencias motrices* de un individuo, bien por amputación o por degradación del sistema neuromuscular. En el caso de las amputaciones se han desarrollado prótesis controladas por señales bioeléctricas generadas por otros músculos del organismo. En el caso de las deficiencias neuromusculares, se han desarrollado ortosis que accionan el miembro paralizado, también mediante las señales de control aportadas por otros músculos.

Hay multitud de posibilidades para la sustitución de funciones deficientes del organismo apoyadas en el uso de la Electrónica. Sin embargo, las características específicas de cada caso limitan la resolución general de gamas completas de problemas.



El generador de imágenes táctiles permite a los ciegos la lectura de libros, periódicos, revistas e incluso escritura a mano. Se basa en aplicar un barrido a las líneas de palabras y posteriormente reproducirlas para que el invidente pueda palparlas. (Cortesía: Dt. de Física de la Universidad de Bristol).

LA INFORMATICA Y EL PROCESO DE INFORMACION MEDICA

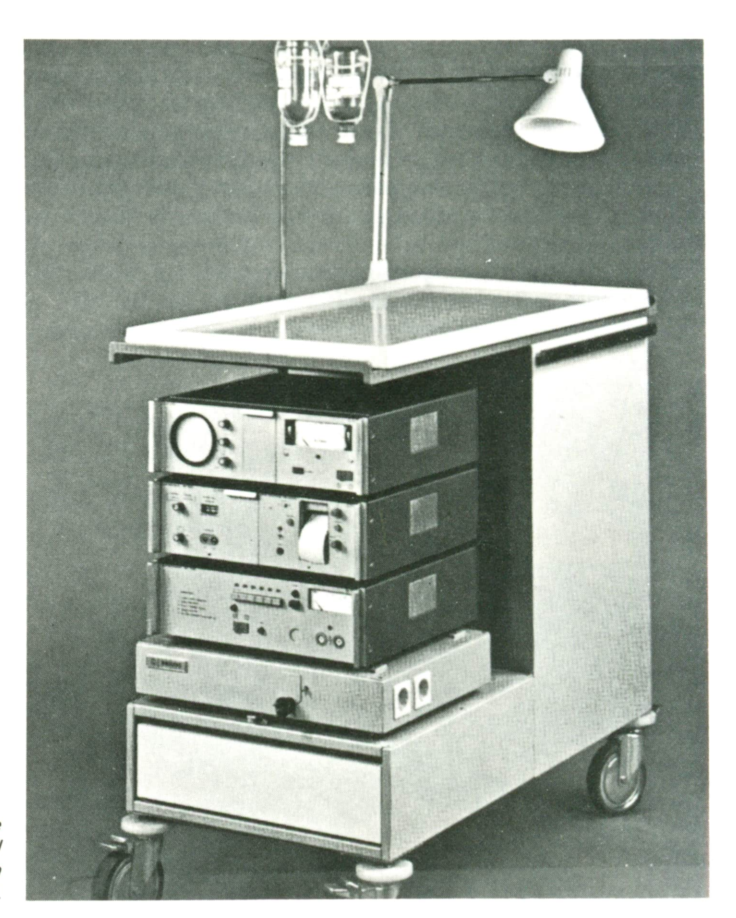
Simplemente dos palabras para apuntar la potencialidad de la Informática dentro del mundo sanitario. La Informática juega un papel cada vez más importante dentro de este mundo. Se podría dividir la aplicación de la Informática en tres grandes apartados:

1) La Informática de gestión hospitalaria.
2) La Informática de gestión funcional.
3) La Informática científica.



La Informática es una ayuda insustituible para la gestión de un centro hospitalario, especialmente en lo que hace referencia al archivo y manejo de datos de todos los pacientes durante todo el tiempo que dura su tratamiento. (Cortesía: Hewlett Packard).

En el primer caso se trata de contribuir a la resolución de los problemas que plantea un hospital, similares a los de un hotel en cuanto a logística, aprovisionamiento, etc. En el segundo caso se trata de procesar la información médica generada en los diversos servicios de un hospital. Tal es el caso de las historias clínicas cuya recuperación ha de asegurarse y realizarse con la máxima prontitud así como su redacción y almacenamiento. Por último la denominada Informática científica viene a resolver los problemas específicos de determinados tipos de servicios, algunos de los cuales ya se han citado anteriormente. Tales serían los casos



Conjunto de instrumentación portátil para emergencia en una clínica u hospital.

de los departamentos de análisis clínicos, de radiología terapéutica, de neurofisiología, etc.

PERSPECTIVAS DE FUTURO

El futuro de la aplicación de la Electrónica y la Informática a la medicina solamente está limitado por consideraciones de tipo económico. El incremento de gastos en la atención a la salud de la mayor parte de los Estados limita gravemente el desarrollo de la aplicación de las nuevas tecnologías a la

atención del enfermo. Sin embargo, cabe pensar en sistemas de medida sin contacto, incruentos, que no produzcan efecto alguno sobre el paciente y que presenten unos resultados lo más depurados posible. Asimismo cabe pensar en unos sistemas terapéuticos que realicen estrictamente su función sin afectar a zonas no deseadas. Las ayudas funcionales sufrirán un gran desarrollo en los próximos años a medida que medios y fines vayan encontrando su acoplo en los presupuestos de diversas instituciones.



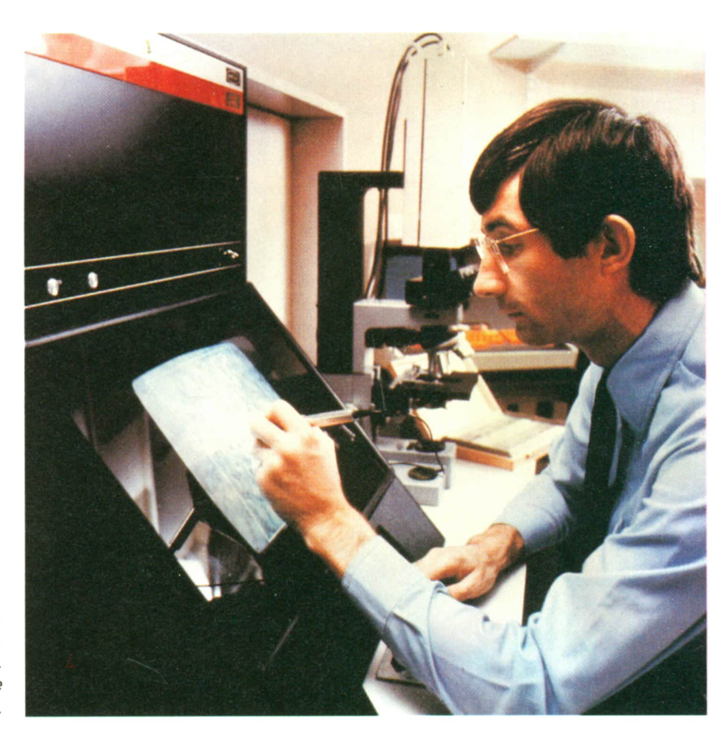
Los documentos, historiales médicos, etc., se guardan en bancos de datos informatizados; hoy día los grandes hospitales están ya recurriendo a la informática para agilizar todos los trámites burocráticos y de gestión del centro. (Cortesía: Hewlett Packard).

Finalmente la Informática penetrará en todos los poros de la organización sanitaria. El futuro que ello deparará a los pacientes, dependerá del uso que los profesionales hagan de las nuevas herramientas y del nivel de conocimiento de su potencial.

Afortunadamente en España existen en la actualidad numerosos ingenieros electrónicos orientados hacia la especialidad de Bioingeniería, aun cuando esta modalidad no sea oficial en las Escuelas de Ingeniería del país. Son varias también las empresas que desde hace unos pocos años están trabajando en el diseño y fabricación de equipos electromédicos, algunos de los cuales están cosechando un enorme éxito en los mercados internacionales.

Finalmente, la Administración española se está mostrando

cada vez más consciente de la enorme importancia de la Electromedicina, por lo que se están estudiando planes de fomento y ayuda a la investigación en este campo.



Sistema de diagnosis ultrarrápido mediante computador, empleando un monitor o pantalla de televisión (TRC). (Cortesía: Universidad de Manchester).

SEGURIDAD ELECTRICA EN EQUIPOS E INSTALACIONES HOSPITALARIAS

No cabe duda de que actualmente nos encontramos en una época en la que la tecnología ha irrumpido en todos los ámbitos de la vida diaria. En el caso concreto de la tecnología utilizada dentro de un hospital es importante tener presente que su mala utilización es una potencial fuente de yatrogenia y un peligro para operadores y usuarios. Ahora bien, una civilización tecnificada debe ser capaz de disminuir las causas de accidente y no crearlas. Ante este problema cabe tomar dos posturas extremas: a)

Utilizar más y más tecnología aunque con ello se incremente el riesgo de accidente, en virtud de los posibles beneficios que de aquel uso se derivan, o b) No utilizar tecnologías nuevas y encontrar vías alternativas que permitan realizar, en lo posible, las funciones encomendadas a aquéllas. La solución razonable al dilema es, desde nuestro punto de vista, la de utilizar la tecnología de forma adecuada pero minimizando los riesgos que de su uso se derivan. Ello pasa por los siguientes condicionantes

1) Imposición de normas internacionales estrictas.
2) Aceptación de estas normas por los Estados respectivos.
3) Creación de mecanismos de homologación de la instrumentación médica.
4) Adiestramiento y sensibilización de los usuarios.
5) Adiestramiento de los técnicos próximos al usuario.
6) Adiestramiento de técnicos próximos a los fabricantes.
7) Existencia de centros de consulta y control de seguridad a nivel local y estatal.
8) Establecimiento legal de responsabilidades a todos los niveles por fallos de seguridad.

Es importante ser consciente de que la seguridad del equipo electromédico debe cubrir al paciente, al operador del equipo, al entorno del equipo y al equipo mismo en conjunto con la instalación en la que se encuentra inserto, de forma que accidentes derivados de cualquiera de estos componentes no afecten a ningún ser humano por acción o por defecto. De hecho, los riesgos suelen ser debidos a uno de los tres motivos siguientes: a) A la energías puestas en juego durante el funcionamiento normal, como en el caso del uso de radiaciones electromagnéticas, nucleares o de ultrasonidos; b) A las energías puestas en juego cuando el equipo presenta un fallo, aunque siga funcionando, como es el caso de pérdidas de aislamiento de cables, contactos con personas cargadas de electricidad estática o que toquen una parte viva de otro equipo, etc.; c) Cuando se interrumpe el funcionamiento del equipo, bien cuando la vida del paciente depende de su funcionamiento como es el caso de monitores y respiradores, o bien cuando el examen o tratamiento médico no admite interrupción ni reanudación como es el caso de desfibriladores y marcapasos.

Tratando de especificar más las fuentes de riesgo que se derivan del uso de equipo electromédico, se pueden relacionar dentro de los siguientes apartados:

1) El origen del riesgo puede proceder de la *energía eléctrica*, bien directamente a través del paso de corrientes por el organismo, alterando sus funciones o bien, indirectamente debido a la generación de radiaciones nocivas para el propio organismo.

2) Las *fuerzas mecánicas* pueden provocar riesgos, normalmente debidos a efectos secundarios. Tal es el caso de equipos que presentan aristas vivas, equipos inestables mecánicamente, mecanizados que favorecen la aparición de averías eléctricas, etc.

3) Las perturbaciones de *alta frecuencia* pueden enmascarar señales biológicas de control de procesos automáticos, dando lugar a respuestas erróneas del sistema.

4) Las elevaciones excesivas de *temperatura* pueden provocar quemaduras o sobresaltos indeseables.

8) Las *explosiones* son un riesgo potencial elevado, sobre todo cuando se utilizan gases tales como oxígeno, óxido nitroso, etc. normales en las aplicaciones terapéuticas.

6) La *emisión* por los equipos de *líquidos* o gases corrosivos, tóxicos o calientes es una potencial fuente de problemas de seguridad.

7) Las *esterilizaciones* defectuosas han sido tradicionalmente una fuente de infecciones. Ello implica que, al menos, las partes de los equipos e instalaciones más próximas al paciente han de ser fácilmente esterilizables periódicamente.

8) Los *errores humanos* en el reposicionado de piezas, operaciones erróneas, etc. pueden derivar en problemas de seguridad, por lo que los equipos habrán de ser de una utilización lo más simple posible, evitando al máximo posibilidades de error.

9) Las *averías* de componentes pueden provocar, a veces, fallos catastróficos que el diseñador debe saber prevenir.

10) Finalmente los fallos en la *alimentación* del equipo han de preverse en aquellos casos especialmente en los que de sus funcionamiento puedan depender la vida o bienestar del paciente.

Tanto el diseñador como el fabricante y el usuario han de ser conscientes, en la medida que les corresponda de los riesgos que se derivan del anterior decálogo, habida cuenta que el paciente suele ser muy sensible a ellos por diversos motivos, entre los que cabe destacar el que no suele ser consciente del peligro siendo, normalmente, incapaz de escapar de él. El paciente puede encontrarse en condiciones

difíciles, desprovisto de sus barreras naturales de protección, estando conectado a la vez a más de un equipo o de él puede depender su vida, etc.

Por otra parte no es sólo el paciente el sujeto a tener en cuenta al valorar la seguridad de un sistema. El médico o usuario en general puede verse expuesto a riesgos repetidos, como es el caso de los radiólogos. Sin embargo, en cualquier caso es el médico el responsable final de los efectos que sobre el paciente tenga la aplicación de los variados equipos que utiliza, por lo que se le debe exigir un conocimiento preciso del manejo de los equipos y de los riesgos que comporta su uso.

Seguridad del equipo

La vida técnica de un equipo viene determinada por cuatro factores primordiales: La calidad inicial de los componentes y del diseño o construcción, las condiciones ambientales dentro de las que se desarrolla la vida del equipo como humedad, temperatura y entorno mecánico (golpe etc.), la frecuencia de utilización del equipo y el mantenimiento que se siga con él. En el supuesto que la frecuencia de utilización es un parámetro fijo, dependiente de la naturaleza de la aplicación, quedan dos factores a prever por el diseñador fabricante, es decir, calidad inicial y condiciones ambientales y dos también a cuidar por el usuario, es decir, las condiciones ambientales en que utilizará el equipo y su mantenimiento.

En cualquier caso es importante subrayar que al equipo deben de ir incorporadas las medidas de seguridad adecuadas desde su salida de fábrica, siendo éste un requerimiento primordial. En segundo lugar, la instalación debe cumplir unos ciertos mínimos pero el equipo debe estar pensado para tratar de disminuir, en lo posible, los efectos de una instalación defectuosa. Estas consideraciones ponen en manos del fabricante la mayor parte de la responsabilidad que no es directamente imputable al usuario en cuanto a problemas de seguridad. En casos críticos el fabricante habría de incorporar dispositivos específicos de protección o alarmas en sus equipos en el caso de que alguna parte vital fallase. Por otra parte hace falta tener en cuenta que no basta con que el equipo cumpla normas de seguridad a su salida

de fábrica sino que éstas han de mantenerse a lo largo de la vida útil del equipo, debiéndose indicar de alguna forma cuando es estadísticamente previsible que las garantías de seguridad caduquen.

Al hablar de la seguridad de equipos electromédicos se suelen hacer muchas referencias al primer fallo. Este primer fallo se encuentra tipificado en las diversas normas de seguridad. Se asume que la probabilidad de que se producan dos fallos simultáneos que den lugar a un determinado efecto es muy baja. El sistema de seguridad debería ser capaz de indicar este primer fallo antes de que apareciese el segundo.

Seguridad de la instalación

Conviene definir la instalación como el conjunto de conductores, interruptores, transformadores y todo lo necesario para suministrar energía al equipo electromédico.

El peligro que se puede derivar de la instalación de cara al paciente suele consistir en la aparición entre diversos puntos de la instalación de diferencias de potencial de magnitud suficiente para originar corrientes excesivas a través de él que pueden producir efectos nocivos. De ahí que la mayor parte de las medidas a tomar en una instalación hospitalaria suelen tender a mantener, lo que se denomina, un espacio equipotencial alrededor del paciente. En particular, y de forma resumida, se recurre a poner a tierra los equipos que rodean al paciente a través de una red equipotencial dentro de la sala en que se encuentre, aislando la red de tierra e incorporando dispositivos que disminuyan la duración de las corrientes potenciales que pueden atravesar al paciente.

En cualquier caso las salas del hospital deberán recibir distinto tratamiento dependiendo de la situación del paciente dentro de ellas, de forma que los quirófanos requerirán un tratamiento distinto a las salas de vigilancia intensiva o a las salas comunes de tipo general. Como norma general los sistemas de alimentación de una instalación hospitalaria se realizarán mediante una red de cinco conductores con neutro aislado y separado y conductores de protección aislados y separados.

